

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Resistencia a la flexion en vigas de concreto $f'_c=210$
kg/cm², al adicionar en un 5% y 10% de fibra de agave
lechuguilla

Tesis para obtener el titulo profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Alegre Montalvo, Christian Alexander

Asesor:

Solar Jara, Miguel Angel

Huaraz - Perú

2018

TÍTULO

**Resistencia a la flexión en vigas de concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, al
adicionar en un 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla**

PALABRAS CLAVES

Resistencia, Concreto, Fibra de Agave Lechuguilla, Cemento.

KEYWORDS

Resistance, Concrete, Fiber of Agave Lechuguilla, Cement.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Código	Línea
1.0	Ingeniería
1.2	Ingeniería y tecnología
1.2.1	Ingeniería civil

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene el propósito fundamental determinar la resistencia a la flexión de una viga de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, al adicionar en un 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla tratada con parafina para incrementar la resistencia a la flexión.

La metodología de la presente investigación es del tipo correlacional, experimental puro; correlacional porque experimenta el comportamiento del concreto cuando se le adiciona las fibras de agave lechuguilla revestidas con parafina y es del tipo experimental porque estudia el comportamiento de la resistencia a la flexión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, cuando se le adiciona las fibras de agave lechuguilla.

Se realizaron 27 ensayos de rotura de la resistencia a la flexión de las vigas a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto, adicionando las fibras en 5% y 10% del volumen del concreto realizando las comparaciones con una viga patrón con 3 ensayos por cada uno. Los resultados favorables fueron a los 28 días de curado del concreto donde la resistencia a la flexión de la muestra patrón llegó a los 125.4 kg/cm^2 , la adición del 5% fue de 122.1 kg/cm^2 y del 10% a 130 kg/cm^2 , donde se incrementó la resistencia a la flexión en un 3.7%.

ABSTRACT

The present research work has the fundamental purpose to determine the resistance to bending of a reinforced concrete beam $f'_c = 210 \text{ kg / cm}^2$, by adding 5% and 10% of the agave fiber lechuguilla treated with paraffin to increase the resistance to bending.

The methodology of the present investigation is of the correlational, pure experimental type; correlational because it experiments the behavior of the concrete when it is added the fibers of agave lechuguilla coated with paraffin and is of the experimental type because it studies the behavior of the resistance to the flexion of the reinforced concrete $f'_c = 210 \text{ kg / cm}^2$, when it is added the fibers of agave lechuguilla.

27 tests were performed to break the bending resistance of the beams at 7, 14 and 28 days of concrete curing, adding the fibers in 5% and 10% of the volume of the concrete making the comparisons with a standard beam with 3 tests for each one. The favorable results were after 28 days of concrete curing where the flexural strength of the standard sample reached 125.4 kg / cm^2 , the addition of 5% was 122.1 kg / cm^2 and 10% at 130 kg / cm^2 , where the resistance to flexion was increased by 3.7%.

INDICE GENERAL

Título de investigación	i
Palabras Clave	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
I. Introducción	1
II. Metodología del trabajo	83
III. Resultados	87
IV. Analisis y Discusión	130
V. Conclusiones y Recomendaciones	141
Agradecimiento	144
Referencias Bibliográficas	145
Anexos	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consistencia – Asentamiento	14
Tabla 2. Tabla de tolerancias del concreto.	15
Tabla 3. Circunstancias que afectan la durabilidad	17
Tabla 4. Porcentaje que pasa por la malla el agregado fino.	22
Tabla 5. Composición química del Cemento.	28
Tabla 6. Porcentajes de óxidos que intervienen en el cemento	29
Tabla 7: Características de las Varillas corrugadas	33
Tabla 8. Calidad del acero de refuerzo	35
Tabla 9. Elongación mínima de rotura	40
Tabla 10. Variable Dependiente (Y) – Resistencia a la flexión	81
Tabla 11. Variable Independiente (X) – Adición de la Fibra.	82
Tabla 12. Tratamiento de las vigas con la fibra	84
Tabla 13. Tabla de recolección de información	86
Tabla 14: Resultados obtenidos de la fibra: Ph y Grado de acidez	90
Tabla 15. Tabla de espectrometría de fluorescencia de rayos X aplicada a la fibra de agave lechuguilla	91
Tabla 16: Capacidad de absorción de la fibra sin tratamiento	93
Tabla 17: Capacidad de absorción de la fibra con tratamiento	94
Tabla 18: Porcentaje de absorción de la fibra tratada y sin tratar	95
Tabla 19. Deformación máxima d la fibra aplicándole la carga.	98
Tabla 20. Elongación máxima de la fibra	100
Tabla 21. Tabla de ensayos realizados en los agregados y el cemento.	104
Tabla 22. Rangos del agregado fino de la cantera	105
Tabla 23. Rangos del agregado grueso	106
Tabla 24: Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino	111
Tabla 25: Densidad aparente compactad del agregado grueso y fino	111
Tabla 26: Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	112
Tabla 27: Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	113

Tabla 28: Contenido de humedad del agregado fino y grueso	114
Tabla 29. Vigas consideradas en la dosificación	117
Tabla 30. Diseño de la viga patrón	121
Tabla 31. Valores de diseños corregidos	122
Tabla 32. Diseño de la viga con el 5% de la fibra	123
Tabla 33. Diseño de mezcla del concreto – adición 5% de fibra	125
Tabla 34. Diseño de la viga con el 10% de la fibra	126
Tabla 35. Diseño de mezcla del concreto – adición 10% de fibra	128
Tabla 36. Resistencia a la flexión del concreto a los 7 días	133
Tabla 37. Resistencia a la flexión del concreto a los 14 días	135
Tabla 38. Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días	137
Tabla 39. Resistencia a la flexión en vigas de 7 a 28 días	139

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Corrugación en las barras de refuerzo	33
Figura 2. Distribución de los esfuerzos de fluencia medidos en ensayos de tracción. Aceros Grado 60.	36
Figura 3. Curvas esfuerzo – deformación típica	37
Figura 4. Deformación típica de las barras de acero.	38
Figura 5. Curvas típicas para aceros nacionales de 5/8” grado 60.	39
Figura 6. Propiedades mecánicas típicas de las fibras naturales	56
Figura 7. Reforzados con fibras naturales.	58
Figura 8. Agave Lechuguilla (penka) – Fibra (proceso)	61
Figura 9: Tallado manual para la obtención de la fibra de Agave Lechuguilla.	63
Figura 10. Tallado mecánico, extracción de la fibra de Agave Lechuguilla, por el tambor eléctrico, donde la fibra se maltrata en el proceso.	65
Figura 11. Rectángulo de compresión equivalente bajo las cargas últimas.	67
Figura 12: Deformaciones y esfuerzos en vigas rectangulares con armadura de tracción y de compresión.	68
Figura 13: Diseño de la viga “T”.	69
Figura 14. Granulometría del agregado grueso (peso y tamizado).	71
Figura 15. Análisis granulométrico del agregado grueso	72
Figura 16. Análisis granulométrico del agregado fino.	73
Figura 17. Representación de la estructura de la celulosa.	74
Figura 18: Zona de acopio de la Fibra Agave Lechuguilla.	75
Figura 19: Secado de la fibra Agave Lechuguilla al horno 24h.	87
Figura 20. Muestras de fibras sin tratamiento a 24h.	88
Figura 21: Armadura transversal y diagonal que cose a las fisuras de cortante.	92
Figura 22. Deflexiones máximas admisibles.	92

Figura 23: Viga sometida a flexión pura entre sus apoyos.	94
Figura. 24: Viga viapoyada trabajado a flexión simple.	95
Figura 25: Ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz (ASTM C-78, MTC E-709-2000)	96
Figura 26. Zona de ubicación de la cantera Coishco-Ruben.	97
Figura 27. Recolección de los agregados de la cantera Coishco-Ruben.	97
Figura 28. Análisis granulométrico del agregado fino (peso y tamizado)	98
Figura 29 Muestras de fibras con tratamiento a 24h.	100
Figura 30: Porcentaje de absorción de la fibra tratada y sin tratar.	101
Figura 31. Variación del diámetro máximo en fibras. Los diámetros máximos presentan una distribución normal	102
Figura 32: Variación del diámetro mínimo en fibras. Los diámetros mínimos están sesgados a los valores menores.	103
Figura 33. Dispositivo para el ensayo a tensión.	104
Figura 34. Carga vs Deformación de la fibra del agave lechuguilla.	106
Figura 35. Longitud inicial y final de la fibra.	107
Figura 36. Muestra de la fibra sometida al dispositivo a tensión de la fibra.	109
Figura 37. Tratamiento del agave lechuguilla con la parafina.	110
Figura 38. Diseño de la armadura de la viga.	115
Figura 39. Diseño de la armadura de la viga.	117
Figura 40. Elaboración de las vigas de concreto reforzadas 5% y 10% con la fibra de agave lechuguilla.	119
Figura 41. Elaboración de las vigas patrón (3).	120
Figura 42. Elaboración de las vigas con fibra al 5% (3).	124
Figura 43. Elaboración de las vigas con fibra al 10% (3).	127
Figura 44. Curado de las vigas de concreto.	130
Figura 45. Maquina ensayo a flexión de vigas.	131
Figura 46. Modo de falla en una viga a flexión.	132
Figura 47. Resistencia a flexión en vigas a los 7 días.	134

Figura 48. Resistencia a flexión en vigas a los 14 días.	136
Figura 49. Resistencia a flexión en vigas a los 28 días.	137
Figura 50. Resistencia viga patrón vs tiempo de curado	139
Figura 51. Resistencia viga fibra 5% vs tiempo de curado	140
Figura 52. Resistencia viga fibra 10% vs tiempo de curado	140
Figura 53. Resistencia a flexión vs tiempo de curado de la viga.	141

I. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de tener conocimiento amplio del problema a investigar se ha revisado una serie de trabajos internacionales cuyos resúmenes se mencionan a continuación.

Swamy (1990, p.90), desarrollo la investigación titulada “Vegetable Fibre Reinforced Cement Composites – a False Dream or a Potential Reality?”, menciona que: el grupo de fibras naturales vegetales tiene un bajo costo de producción en comparación con los otros tipos de fibras. La manufactura de fibras de acero, vidrio y plásticas requiere una considerable inversión económica lo que es difícil para los países pobres y en desarrollo, además, su producción genera un alto consumo de energía. Las fibras naturales vegetales requieren menos energía en su proceso de extracción, aun siendo éste mecánico.

Studinka (1982, p.73-78), desarrollo la investigación titulada “Asbestos Substitution in the Fibre Cement Industry”, nos menciona que: en muchas civilizaciones de la antigüedad, las fibras se usaron para reforzar materiales. Por ejemplo, la paja se usaba como refuerzo en los adobes de arcilla para controlar la emisión por el secado y reducir el agrietamiento. Posteriormente, en la era moderna el asbesto comenzó a ser utilizado frecuentemente en muchos países. La industria de la construcción usó a gran escala las fibras minerales de asbesto en una matriz de cemento.

Swift y Smith (1979, p.6-8), desarrollo la investigación titulada “Sisal-Cement Composites as Low-Cost Construction Material”, menciona que: fabricaron especímenes de concreto para determinar su resistencia a flexión y

tenacidad. Usaron 5% en volumen de fibras de hasta 1 m de longitud alineándolas en el molde para reforzar concretos de relación agua/cemento (A/C) - 0.5. Los resultados encontrados en comparación con especímenes sin fibra fueron que se incrementó 3 veces la resistencia a flexión, 7 veces la tenacidad y 7 veces la resistencia al impacto. También se ensayaron especímenes reforzados con fibras cortas de 25 mm de longitud y distribuidas aleatoriamente encontrándose que la resistencia a flexión únicamente se incrementa un 50% y la tenacidad e impacto un 100%. Por lo que de acuerdo a sus resultados las fibras largas resultaron más efectivas. Así también, se encontró que adicionando fibras cortas junto con las fibras largas se incrementaba la resistencia a la primera grieta cuando el compuesto es sujeto a flexión.

Filho (1990, p.130-138), desarrollo la investigación titulada “Mortar Reinforced with Sisal – Mechanical Behavior in Flexure”, donde realizó: ensayos en Brasil con fibras de sisal reforzando morteros, el estudio consideró la variación en la longitud y el volumen de la fibra, además de la condición inicial de humedad de la fibra, saturada y seca. Los resultados encontrados indican que el mortero sin fibra tiene una resistencia a flexión ligeramente mayor que los morteros con fibra de 7 y 28 días de edad, sin embargo, esta diferencia se incrementa hasta un 10% a los 63 días de edad. En lo que respecta a la humedad en la fibra se encontró que la resistencia disminuía cuando la fibra estaba previamente saturada. Finalmente, el investigador comentó que la resistencia a flexión de los especímenes es mayor en las matrices de mortero que tienen menos cantidad de fibra, en comparación con las matrices con alto contenido de fibra.

Castro y Naaman (1981, p.69-78), Realizaron la investigación denominada: “Cement Mortar Reinforced with Natural Fibers”, donde realizaron estudios: en México para tratar de utilizar las fibras de maguey en compuestos base cemento

portland. De la caracterización física que realizaron en las fibras reportan longitudes de 304 a 508 mm y diámetro promedio de 0.35 mm, también obtuvieron el porcentaje de absorción de agua de la fibra resultando que se satura un 67% relativo a su peso seco en menos de 20 min y alcanza el 70% en 24 hrs. La densidad de la fibra fue obtenida con un valor de 1.24 g/cm³. Las propiedades mecánicas obtenidas de la fibra fueron la resistencia última a tensión de 552 MPa y el módulo de elasticidad de 21 GPa. Se probaron fracciones de volumen de 5 hasta 12% y según los resultados de los especímenes sometidos a ensayos de flexión, se encontró que el volumen de la fibra no influye significativamente en la resistencia a la primera grieta.

Campbell y Coutts (1980, p.1962-1970), realizaron la investigación denominada “Wood Fiber-Reinforced Cement Composites”, ellos realizaron estudios en: Australia trabajando con fibra de celulosa producto de la madera, las fibras utilizadas tenían una relación de aspecto entre 50 a 60 mm. Las propiedades mecánicas obtenidas fueron la resistencia a la tensión de la fibra que se reporta de 500 a 900 MPa y un módulo elástico de 25 a 40 GPa. Sus estudios reportan que las fibras de celulosa extraídas químicamente se mantienen estables en el medio altamente alcalino de la matriz de cemento. Otros resultados indican que las fibras extraídas utilizando sulfato de sodio (Na₂SO₄) favorecen la resistencia a flexión del compuesto, mientras que las que fueron tratadas con hidróxido de sodio (NaOH), ocasionaron una disminución en la resistencia a flexión. También reportaron, que los métodos de extracción de la fibra ya sean químicos o termo mecánicos influyen considerablemente en las propiedades mecánicas del concreto. Siendo más costoso el primer método de extracción, pero los compuestos fabricados con fibras químicamente extraídas presentan una mayor resistencia a flexión.

Kadir (1990, p.314-318), realizó la investigación denominado “Use of vegetable Plants in Housing Construction in Northern Iraq”, en su investigación

reportó: que al norte de Iraq, se utilizan desde hace tiempo las fibras vegetales como material de construcción. La madera, la caña y las hojas de varias plantas son utilizadas en la construcción de techos y muros. Las fibras refuerzan los bloques de adobe usados en estas viviendas, que deben proteger a sus habitantes de la lluvia, nieve y temperaturas que van desde -10°C en invierno, hasta los 45°C en verano.

Juárez (2002, p.52-57), Realizó la tesis Doctoral: “Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla), como materiales para construcción en México”, donde desarrollo su estudio con el objetivo de producir un material compuesto (concreto), a partir de cemento portland y arena reforzado con fibras naturales de lechuguilla, que posea propiedades mecánicas adecuadas para ser aplicado en la construcción. Llego a la conclusión de que se pudo comprobar que los concretos reforzados con fibras naturales de lechuguilla tienen el potencial para ser usados como materiales de construcción económicos, y que es necesario seguir investigando para asegurar una vida útil apropiada de estos nuevos materiales en México

También se ha revisado una serie de trabajos realizados en el Perú cuyos resúmenes que se mencionan a continuación.

Gallegos (1986, p.25-34), realizó la investigación denominada “Use of Vegetables Fibres as Building Materials in Perú”, reportó que en Perú es muy utilizada la fibra proveniente de la caña del junco de agua, con estas fibras y el cemento se fabrican materiales de construcción conocidos como "quincha". Estos materiales han sido usados en la construcción de domos y cúpulas para iglesias, muros prefabricados en lugar del adobe. Industrialmente se fabrican paneles prensados de cemento y madera con buenas propiedades térmicas y

acústicas, además de ser ligeros y fáciles de cortar y fijar.

Nishihara (2012), Realizó la tesis denominada: “Influencia de las fibras naturales de maguey a manera de adiciones en el control de fisuras por contracción plástica en los pavimentos rígidos de concreto hidráulico” , para obtener el título de ingeniero civil en la Universidad Continental de Huancayo, Perú, desarrolla este estudio, cuyo objetivo es : determinar la influencia de las Fibras Naturales del Maguey como adición al concreto en el Control de Fisuras por Retracción Plástica en los Pavimentos Rígidos, concluye que el uso de fibras naturales de maguey controla las fisuras por contracción plástica en los pavimentos rígidos de concreto hidráulico.

Cadillo y Cano (2014), quien desarrollo su tesis denominado: “Resistencia de la compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de fibras de agave lechugilla”, aborda el desarrollo de la influencia de las fibras naturales de agave lechuguilla a manera de adición en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15%, en la resistencia a compresión de un concreto simple de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Para su trabajo de investigación, uso agua potable, agregados de la cantera de Callhua y fibras de agave lechuguilla, de una longitud de 30 mm, recolectadas en del barrio de los Olivos y CPM de Unchus. Como conclusión principal nos indica que el uso de fibras de agave lechuguilla aumenta la resistencia a la compresión del concreto simple, de manera óptima, cuando se le adiciona en un porcentaje de 5% Y 10%.

Se justifica mediante la presente investigación, se busca incrementar de manera específica la resistencia a la flexión de la viga de concreto al adicionar la fibra de agave lechuguilla en un 5% y 10% que veneficiará a todas las nuevas viviendas al aumentar su resistencia, los elementos estructurales serían los más beneficiados en su localidad de construcción al emplearse estas fibras naturales

de su sector.

Nuestro país al igual que la gran mayoría de los países en vías de desarrollo, tiene abundante producción de fibras naturales. Así también, posee los mismos problemas de insuficiencia de infraestructura y de vivienda que son requeridos por la población. Sin embargo, los trabajos científicos relacionados a la explotación racional de esta riqueza son limitados.

Por tanto, la utilización del cemento en su forma básica, como insumo del concreto tradicional, debería complementarse con la oportunidad de usar de forma más extensiva, como elementos adicionados los subproductos de otros materiales de origen natural, los cuales pueden ser o no procesados antes de ser utilizados. Dentro de esos insumos tenemos las de fibras naturales como el agave lechuguilla.

En la zona sierra de Áncash muchas familias que habitan en las zonas rural viven en una situación económica precaria. Esto es el resultado principalmente de la inadecuada y deficiente inversión agrícola a través de los años, observándose la presencia abundante del agave lechuguilla en áreas libres y eriazas, que no ha sido explotado como fibra natural en el campo de la construcción.

La presente investigación pretende dar alternativas para el desarrollo de la infraestructura y vivienda de las zonas rurales de la zona sierra de Ancash, que según la posible aplicación del material compuesto de concreto y fibras de lechuguilla, podrá permitir construir con una menor inversión. Además, de fomentar la autoconstrucción y la generación de fuentes de ingresos para los

campesinos que fabriquen y comercialicen sus propios materiales de construcción.

Los resultados obtenidos de la investigación podrán ser sometidos a consideración del mundo académico o los organismos públicos para su aplicación y seguimiento en otras zonas de la sierra de nuestro país.

La presente investigación es pertinente, pues continua la línea de investigación del uso de la fibra agave lechuguilla como insumo aditivo del concreto, pues ya ha sido ensayado en concreto simple, y ahora se pretende estudiar, cuál será su comportamiento mecánico en un concreto armado.

El problema principal radica en obtener materiales de construcción que replacen a los materiales sintéticos y que tengan un bajo costo para que estos se puedan emplear en la construcción. Las fibras sintéticas son cada vez más empleadas en la construcción, dejando de lado la protección del medio ambiente.

Desde un enfoque de oportunidad; es interesante valorar un importante componente de arbusto libre: la fibra de lechuguilla agave; planta que crece en diferentes zonas del callejón de Huaylas (sierra de Ancash), y que puede ser aprovechada como generada de fibra para la construcción.

Por tanto, el trabajo de investigación planteado, busca innovar el concepto de autoconstrucción para las zonas rurales y periurbanas de la zona sierra de nuestro departamento; con el uso de este abundante arbusto libre. La utilización

de la fibra de agave lechuguilla, busca comprobar que pueden adicionarse porcentualmente, en un diseño de concreto armado.

Por lo expuesto, nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Cuál es la resistencia a la flexión en una viga de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, debido a la adición en un 5%, y 10% de fibras de agave lechuguilla?

Conceptualización:

El concreto tiene la misma historia la del hombre, donde busca un mejor espacio donde vivir; con una mayor comodidad, seguridad y protección posible.

Desde que el ser humano dejó las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantó construcciones con requerimientos específicos como templos, palacios, museos, son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad. Un ejemplo claro el pueblo egipcio ya utilizaba un mortero – mezcla de arena con material cementante – para unir bloques y losas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones.

Los constructores griegos y romanos de aquel tiempo, descubrieron que ciertos depósitos volcánicos que mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Fueron los Romanos quienes descubrieron que este material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron lo encontraron en un lugar llamado Pozzuoli con el que aun actualmente lo conocemos como puzolana.

Investigaciones y descubrimientos a lo largo de miles de años, nos conducen a principios del año pasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba se molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo de nuestro tiempo.

El concreto básicamente se compone de agregados y una pasta formada por cemento Portland y agua. Los agregados son básicamente arena (finos) y piedra triturada o grava (gruesos).

En la actualidad el concreto de cemento Portland es el material manufacturado más utilizado y su futuro es muy prometedor debido a que para la mayoría de las aplicaciones ofrece propiedades de ingeniería adecuadas a bajo costo, combinadas con el ahorro de energía y los beneficios ecológicos.

Este elemento estructural es ya una constante en cualquier construcción, se puede ver en cualquier parte de la obra y en la mayoría de las etapas constructivas donde se trabaja con él. Es común verlo desde la cimentación, los elementos resistentes (trabes y columnas), muros, losas, etc.

El concreto como material estructural

El concreto es el material de construcción más usado, la cual se hace generalmente mezclando cemento Portland con arena, piedra triturada y agua. En muchos países la proporción del consumo de concreto excede diez a uno el del acero.

El concreto es un material de uso común, o convencional y se produce

mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire. La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

El concreto convencional en estado fresco, es un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

Las características físicas y químicas de este material están definidas por las características de sus componentes (Torre, 2004).

Características del concreto

El concreto es un material compuesto que consiste esencialmente en un medio conglomerante dentro del cual se hallan ahogadas partículas o fragmentos de agregados.

El agregado es el material granular, tal como la arena, la grava, la piedra triturada o la escoria de acero de alto horno, la cual además puede ser utilizada

como un medio cementante para formar concreto o mortero de cemento hidráulico. Se consideran generalmente dos tipos de agregado, el agregado grueso, se refiere a las partículas de agregado mayores a 4.75 mm (malla No. 4) y el término agregado fino, se refiere a las partículas de agregado menores de 4.75 mm pero no mayores de 75 μ m (malla No. 200).

El mortero es una mezcla de arena, cemento y agua. En esencia concreto sin agregado grueso. El cemento es un material finamente pulverizado que no es en sí mismo un conglomerante, sino que desarrolla la propiedad conglomerante como resultado de la hidratación (es decir, por las reacciones químicas entre los minerales del cemento y el agua).

Clasificación y tipos de concreto

En base a su peso unitario, el concreto se puede clasificarse en tres grandes categorías.

El concreto que tiene arena natural y grava o agregados de roca triturada, que pesa aproximadamente 2400 Kg. /m³, es conocido como concreto de peso normal y es el concreto más comúnmente usado para propósitos estructurales.

Para aplicaciones en donde se desea una relación más alta de resistencia contra peso, es posible reducir el peso unitario del concreto utilizando ciertos agregados naturales o piro-procesados que tienen una densidad de masa más baja.

El término de concreto ligero se utiliza para un concreto que pesa menos de 1800 Kg/m³. Por otra parte, el concreto pesado que se utiliza, por ejemplo, para

escudos contra radiación, es un concreto producido con agregados de alta densidad y pesa, en general, más de 3200 Kg./m³.

El concreto también se clasifica por su resistencia a la compresión, esta clasificación por resistencia prevalece en Europa, pero haremos mención de ella en este capítulo.

- Concreto de baja resistencia: Menos de 20 MPa (204 kgf/cm²) de resistencia a la compresión.
- Concreto de Resistencia moderada: De 20 a 40 MPa (204 a 408 kgf/cm²) de Resistencia a la compresión.
- Concreto de alta resistencia: más de 40 MPa (408 kgf/cm²) de resistencia a la compresión.

El concreto de resistencia moderada es un concreto ordinario o normal que se utiliza en la mayor parte de los trabajos estructurales.

Propiedades del concreto

La selección de un material de ingeniería para una aplicación en particular, tiene que tomar en cuenta su capacidad para resistir la fuerza aplicada. Tradicionalmente, la deformación que ocurre como resultado de una carga aplicada se conoce como deformación unitaria, la cual es definida como el cambio de longitud por unidad de longitud; la carga se expresa como esfuerzo, que se define como la fuerza por unidad de área. Dependiendo de cómo el esfuerzo actúe sobre el material, los esfuerzos también son distintos uno de otro, por ejemplo, en compresión, tensión, flexión, cortante y torsión.

Las relaciones esfuerzo-deformación unitario en los materiales se expresa generalmente en términos de resistencia, módulo de elasticidad, ductilidad y tenacidad. La resistencia es una medida de la cantidad de esfuerzo requerido para hacer fallar un material.

En estado fresco

El Concreto en estado fresco es desde que se mezcla el concreto hasta que fragua el cemento. El Comportamiento del concreto fresco depende de:

- Relación agua / cemento.
- Grado de hidratación.
- Tamaño de partículas.
- Mezclado.
- Temperatura.

La Trabajabilidad: Es la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación del que se disponga. La trabajabilidad depende de:

- Dimensiones del elemento.
- Secciones armadas.
- Medios de puesta en obra.

Habrà una mayor trabajabilidad cuando:

- Contenga más agua.
- Más finos.
- Agregados redondeados.

- Más cemento.
- Fluidificantes / plastificantes.
- Adiciones.

Consistencia: Denominamos consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica. La consistencia depende:

- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del agregado.
- Granulometría.
- Forma de los agregados influye mucho el método de compactación.

Tipos de Consistencia:

- SECA – Vibrado enérgico.
- PLÁSTICA – Vibrado normal.
- BLANDA – Apisonado. FLUIDA – Barra

Tabla 1.
Consistencia – Asentamiento

PROPIEDADES DEL CONCRETO CONSISTENCIA / ASENTAMIENTO	
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO(cm)
SECA	0 – 2
PLASTICA	3 – 5
BLANDA	6 -9
FLUIDA	10 – 15

Fuente: Propiedades del Concreto – Aceros Arequipa (2003)

Tabla 2.

Tabla de tolerancias del concreto.

TABLA DE TOLERANCIAS DEL CONCRETO		
CONSISTENCIA	TOLERANCIA (cm)	INTERVALO
SECA	0	0 - 2
PLASTICA	±1	3 - 5
BLANDA	±1	6 - 9
FLUIDA	±1	10 - 15

Fuente: Propiedades del Concreto – Aceros Arequipa (2003).

Homogeneidad y uniformidad.

Homogeneidad: es la cualidad que tiene un concreto para que sus componentes se distribuyan regularmente en la masa.

Uniformidad: se le llama cuando es en varias amasadas. Esta depende:

- Buen amasado.
- Buen transporte.
- Buena puesta en obra.

Se pierde la homogeneidad por tres causas:

- Irregularidad en el mezclado.
- Exceso de agua.
- Cantidad y tamaño máximo de los agregados gruesos.

Esto provoca:

- Segregación: separación de los áridos gruesos y finos.
- Decantación: los áridos gruesos van al fondo y los finos se quedan arriba.

Compacidad: Es la relación entre el volumen real de los componentes del hormigón y el volumen aparente del hormigón. No se tiene en cuenta el aire ocluido.

Características físico-químicas: Son las siguientes:

Impermeabilidad: El concreto es un sistema poroso y nunca va a ser totalmente impermeable. Se entiende por permeabilidad como la capacidad que tiene un material de dejar pasar a través de sus poros un fluido.

Para lograr una mayor impermeabilidad se pueden utilizar aditivos impermeabilizantes, así como mantener una relación agua cemento muy baja. La permeabilidad depende de: Finura del cemento, cantidad de agua y compacidad.

La permeabilidad se corrige con una buena puesta en obra.

Durabilidad: Depende de los agentes agresivos, que pueden ser mecánicos, químicos o físicos. Los que más influyen negativamente son: Sales, calor, agente contaminante y humedad.

El efecto producido es un deterioro: Mecánico y Físico.

Tabla 3.

Circunstancias que afectan la durabilidad

CIRCUNSTANCIAS QUE AFECTAN A LA DURABILIDAD	
MECANICAS	Vibraciones, sobrecargas, impactos, choques.
FISICAS	Oscilaciones térmicas, ciclos de hielo y deshielo, fuego, causas higrométricas.
QUIMICAS	Contaminación atmosférica, aguas filtradas, terrenos agresivos.
BIOLOGICAS	Vegetación o microorganismos.

Fuente: <https://masqueingenieria.com/blog/durabilidad-del-hormigon/>

Resistencia térmica:

- Bajas temperaturas – Hielo / deshielo (deterioro mecánico).
- Altas temperaturas >300° C.

Características mecánicas: Son las siguientes:

Resistencia a compresión: Este parámetro se obtiene a través del ensayo de un cilindro estándar de 6” (15cm) de diámetro y 12” (30 cm) de altura. El espécimen debe permanecer en el molde 24 horas después del vaciado y posteriormente debe ser curado bajo agua hasta el momento del ensayo.

El procedimiento requiere que la prueba tenga 28 días de vida para ser ensayada. La resistencia a la compresión se define como el promedio de la resistencia de como mínimo dos probetas tomadas de la misma muestra y probada a los 28 días.

Resistencia a tracción: La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de ésta. Para la determinación de este parámetro no se suele usar ensayos directos debido a las dificultades que se presentan sobre todo por los efectos secundarios que generan los dispositivos de carga. Para estimarlos se han diseñado dos métodos indirectos:

El primero llamado prueba brasilera o splitt-test, que consiste en cargar lateralmente el cilindro estándar a lo largo de sus diámetros hasta que se rompe.

El segundo método consiste en evaluar la resistencia a la tracción a través de pruebas de flexión. Para este ensayo se usa una viga con sección transversal cuadrada de 6" (15 cm) de lado y una longitud igual a 70 cm, con apoyo a los 60 cm. Centrales los cuales se carga a los tercios de luz entre apoyos. La falla se produce entre los puntos de aplicación de las cargas.

Trabajabilidad: Es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con que este puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue). El grado de trabajabilidad apropiado para cada estructura, depende del tamaño y forma del elemento que se vaya a construir, de la disposición y tamaño del refuerzo y de los métodos de colocación y compactación. Los factores más importantes que influyen en la trabajabilidad de una mezcla son los siguientes:

- La gradación, la forma y textura de las partículas.
- Las proporciones del agregado.
- La cantidad del cemento.
- El aire incluido. Los aditivos y la consistencia de la mezcla.

Un método indirecto para determinar la trabajabilidad de una mezcla consiste

en medir su consistencia o fluidez por medio del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams. El requisito de agua es mayor cuando los agregados son más angulares y de textura áspera (pero esta desventaja puede compensarse con las mejoras que se producen en otras características, como la adherencia con la pasta de cemento).

Resistencia: Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

Durabilidad: El concreto debe poder soportar aquellas exposiciones que pueden privarlo de su capacidad de servicio tales como congelación y deshielo, ciclos repetidos de mojado y secado, calentamiento y enfriamiento, sustancias

químicas, ambiente marino y otras. La resistencia a algunas de ellas puede fomentarse mediante el uso de ingredientes especiales como:

- Cemento de bajo contenido de álcalis, puzolanas o agregados seleccionados para prevenir expansiones dañinas debido a la reacción álcalis - agregados que ocurre en algunas zonas cuando el concreto está expuesto a un ambiente húmedo.
- Cementos o puzolanas resistentes a los sulfatos para concretos expuestos al agua de mar o en contacto con suelos que contengan sulfatos; o agregados libres de excesivas partículas suaves, cuando se requiere resistencia a la abrasión superficial.

La utilización de bajas relaciones a/c prolongara la vida útil del concreto reduciendo la penetración de líquidos agresivos. La resistencia a condiciones severas de intemperie, particularmente a congelación y deshielo y a sales utilizadas para eliminar hielo, se mejora notablemente incorporando aire correctamente distribuido. El aire inyectado debe utilizarse en todo concreto en climas donde se presente la temperatura del punto de congelación.

Agregado fino

El agregado fino es un material que se obtiene de la desintegración natural o artificial de otros agregados de mayor tamaño. Esta comprendido por todos los tamaños que pasan por la malla 3/8" y quedan retenidas en la malla N° 200, que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. Para ser utilizado en la proporción de concreto deberá cumplir con ciertas propiedades físicas por normas de calidad.

Propiedades físicas: agregado fino a utilizarse en el concreto debe cumplir ciertos requisitos mínimos de calidad según las especificaciones de las normas

técnicas peruanas NTP.

La determinación de estos requisitos denominados propiedades físicas nos permitirá obtener valores que serán utilizados para los diseños de mezcla de concreto a estudiar. Las propiedades físicas a determinar son: peso específico, peso unitario, granulometría, módulo de finura, porcentaje de finos que pasa la malla N° 200, contenido de humedad y absorción.

Peso unitario: El peso unitario del agregado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, el cual se expresa en kg/m³.

El peso unitario depende de ciertas condiciones intrínsecas de los agregados, tales como su forma, tamaño y granulometría, así como el contenido de humedad; también depende de factores externos como el grado de compactación impuesto, el tamaño máximo del agregado en relación con el volumen del recipiente, la forma de consolidación, etc.

Peso específico: Peso Específico, es la relación entre el peso del material y su volumen, su diferencia con el peso unitario está en que este no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material.

Es necesario tener este valor para realizar la dosificación de la mezcla y también para verificar que el agregado corresponda al material de peso normal.

Granulometría: La granulometría se refiere a la distribución de partículas de arena. El análisis de granulometría divide la muestra en fracciones de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados. La norma técnica peruana establece las especificaciones granulométricas.

Tabla 4.

Porcentaje que pasa por la malla el agregado fino.

POCENTAJE QUE PASA POR LAS MALLAS EL AGREGADO FINO	
Malla	% que pasa
3/8"	100
N° 4	95 - 100
N° 8	80 - 100
N° 16	50 - 85
N° 30	25 - 60
N° 50	10 - 30
N° 100	2 a 10

Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/estructura-del-concreto.html>

Módulo de finura: Es un índice aproximado y representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra de arena, se usa para controlar la uniformidad de los agregados. La norma establece que la arena debe tener un Módulo de Fineza no menos a 2.35 ni mayor a 3.15.

Se calcula como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas N°4, 8, 16, 30, 50, 100 dividido entre 100.

En la apreciación del Módulo de Finura, se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducen segregación y las que se encuentran entre 2.8 y 3.2 son las más favorables para los concretos de alta resistencia.

Contenido de humedad: Es la cantidad de agua que contiene el agregado fino. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje), la cantidad de agua en el concreto varia. También se define como la diferencia entre el peso del material natural y el peso del material secado en horno (24 hrs.), dividido entre el peso natural del material, todo multiplicado por 100.

Superficie específica: Es la suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado por unidad de peso, para su determinación se consideran dos hipótesis que son: que todas las partículas son esféricas y que el tamaño medio de las partículas que pasan por un tamiz y quedan retenidas en el otro es igual al promedio de las partículas.

Material más fino que pasa por la malla N° 200, consiste en determinar la cantidad de materiales finos que se pueden presentar en el agregado, en forma de revenimiento superficial o en forma de partículas sueltas. El material muy fino, constituido por arcilla y limo, se presenta recubriendo el agregado grueso, o mezclando con la arena.

En el primer caso, afecta la adherencia del agregado y la pasta, en el segundo, incrementa los requerimientos de agua de mezcla.

Absorción: Es la capacidad del agregado fino de absorber agua en contacto con él. Al igual que el contenido de humedad, esta propiedad influye en la cantidad de agua para la relación agua/cemento en el concreto.

También se define como la diferencia en el peso del material superficialmente seco y el peso del material secado en horno (24 hrs), todo dividido entre el peso seco y todo multiplicado por 100.

Contaminación del agregado fino: Los agregados finos contienen, entre ellos, partículas muy pequeñas que son indeseables en la construcción, la arena natural tiene como límite inferior de tamaño los 60 o 70 μm . Los materiales entre 60 y 2 μm se clasifican como limos y si sus partículas son más pequeñas aún, se clasifican como arcilla.

Antes que nada, debe quedar claro que es una sustancia deletérea. Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, una sustancia deletérea es toda aquella que es mortífera o venenosa. Para el caso del agregado podemos decir que ese tipo de sustancias son aquellas que podrían dañar el buen funcionamiento del concreto.

Como ya se mencionó, las arenas poseen ciertas partículas muy pequeñas que pasan por el tamiz No. 300, son clasificadas como limos o arcillas y, por ser pequeñas y de composición diferente, influyen en las propiedades del concreto, por lo cual se establecen límites de contenido de estas sustancias en el agregado.

Las impurezas orgánicas en cantidades grandes pueden ser muy perjudiciales para el concreto, en casos donde el concreto estará expuesto a la humedad, ambiente húmedo o un suelo húmedo, el álcali del cemento puede generar una expansión del mortero o concreto. Cuando es inevitable el contenido de esas sustancias, se recomienda utilizar cementos que contenga menos de 0.6 % de álcalis.

Agregado grueso

Son materiales obtenidos por la desintegración natural o mecánicas de rocas de mayor tamaño. Se trata del material que es retenido en la malla N° 4, que

cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, y para que pueda ser utilizado en la proporción de concreto, sus propiedades deben cumplir los controles de calidad que especifica la norma, y el agregado grueso puede ser grava, piedra chancada.

Propiedades físicas: Los agregados gruesos para que puedan ser utilizados en la preparación de concreto, deben cumplir con los requerimientos mínimos que especifican las normas de control, siendo de vital importancia que sus propiedades físicas mantengan el margen de los límites preestablecidos en dichas normas de calidad. Las propiedades físicas a estudiar: peso específico, peso unitario, granulometría, módulo de finura, contenido de humedad y porcentaje de absorción.

Los ensayos para determinar las propiedades físicas de los agregados se realizan para tres muestras (M-1, M-2, M-3) de agregado, tomándose los valores promedios de las tres muestras como representativos. La metodología utilizada para determinar las propiedades físicas de los agregados está de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas vigentes y las Normas ASTM.

Peso unitario: El peso unitario del agregado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, el cual se expresa en kg/cm³. Los valores para agregados normales varían entre 1500 y 1700 kg/m³. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados, y en caso de proporcionarse el concreto por volumen. Se determinan dos (2) pesos unitarios. Peso unitario compactado (PUC) y el Peso Unitario Suelto (PUS).

Peso específico: Esta propiedad es un indicador de la calidad del agregado; valores altos entre 2.5 a 2.8, corresponden a agregados de buena calidad,

mientras que valores que el menor indicado son de mala calidad (porosos, débiles y absolutamente con mayor cantidad de agua, etc.).

Granulometría: La Granulometría se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de los agregados.

El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados. Las mallas utilizadas para determinar la granulometría de los agregados se designa por el tamaño de la abertura cuadrada en pulgadas.

Las Normas Nacionales especifican la granulometría de los agregados gruesos en 10 series, que son similares a las normas ASTM.

Tamaño Máximo: El tamaño máximo del agregado para la elaboración de concreto de con adición de fibra de agave lechugilla, deberá ser mantenido en un mínimo, en el orden de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ ", y en poca proporción los agregados de 1".

También debe considerarse que los agregados de tamaño menor contribuyen a producir concretos de más alta resistencia debido a una menor concentración, alrededor de las partículas, de esfuerzos originados por una diferencia entre los módulos de elasticidad de la pasta y el agregado.

Tamaño Máximo Nominal: Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada, que produce el primer retenido.

Módulo de finura: Es un índice aproximado y representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra, se usa para controlar la uniformidad de los agregados. Se calcula como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas 3", $1\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, dividido entre 100.

Contenido de humedad: Es la cantidad de agua que contiene el agregado grueso. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje) la cantidad de agua del concreto varía. También se define como la diferencia entre el peso del material natural y el peso del material secado en horno (24 hrs.), dividido entre el peso natural del material, todo multiplicado por 100.

Absorción: Es la capacidad el agregado grueso de absorber agua en contacto con él. Al igual que el contenido de humedad, esta propiedad influye en la cantidad de agua para la relación agua/ cemento. También se define como la diferencia en el peso del material superficialmente seco y el peso del material secado en horno (24 hrs), todo dividido entre el peso seco y todo multiplicado por 100.

Contaminación del agregado fino: Al igual que en el agregado fino, en el grueso se encuentran sustancias no deseables para la elaboración de concreto. La norma antes mencionada recomienda que la cantidad de ese tipo de sustancias no sobrepase los límites establecidos. Al igual que en el agregado fino, si el agregado grueso contiene sustancias que reaccionen con el álcalis del cemento, y el concreto se encuentra en contacto con la humedad, deberá usarse un cemento con menos porcentaje de álcalis.

El cemento

El cemento es un aglomerante hidráulico obtenido de la calcinación a elevadas temperaturas de rocas calizas combinadas en proporciones específicas, obteniéndose un polo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades de resistencia y adherencia.

El producto final de la pulverización de Clincker al cual se le añade yeso en cantidades pequeñas (3% a 6%) para controlar el endurecimiento violento; lográndose en polvo fino que pasa completamente la malla N° 200 y que está listo para su proceso y comercialización.

Composición química

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son:

Tabla 5.

Composición química del Cemento.

COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO		
%	Componente Químico	Procedencia Usual
95% <	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Silice (SiO ₂)	Areniscas
	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcilla
	Oxido de Fierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro
5% <	Oxido de Magnesio, Sodio, Potasio, Titanio, Azufre, Fosforo y Magnesio	Minerales Varios

Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/estructura-del-concreto.html>

Los porcentajes típicos en que intervienen los óxidos mencionados en el cemento Portland son:

Tabla 6.

Porcentajes de óxidos que intervienen en el cemento

PORCENTAJES DE OXIDOS - CEMENTO		
Compuesto	Porcentaje	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% - 1.5%	

Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/estructura-del-concreto.html>

Características físicas

Peso Específico: El peso específico del cemento corresponde al material al estado compactado. Su valor suele variar, para los cementos Portland normales, entre 3.0 y 3.2. Las Normas Norteamericanas consideran un valor promedio de 3.15, en el Perú se considera un valor del orden de 2.97 para los cementos Tipo IP e IPM. Su determinación es particularmente necesaria en relación con el control y diseño de las mezclas de concreto. Se siguen las recomendaciones de la Norma ASTM C 188.

Fineza: La Fineza de un cemento es función del grado de molienda del mismo y se expresa por su superficie específica, la cual es definida como el área superficial total, expresada en cm², de todas las partículas contenidas en un gramo de cemento.

Tipos de cemento

Cemento Portland Tipo I: Cemento de uso general, donde no se requiere propiedades especiales. Se usa donde el cemento o el concreto no está sujeto al ataque de factores específicos como los sulfatos del suelo o del agua, a elevaciones perjudiciales de temperatura, debido al calor generado por la hidratación.

Cemento Portland Tipo II: De uso cuando se requiere moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Este tipo de cemento genera usualmente menor calor de hidratación que el tipo I.

Cemento Portland Tipo III: Presenta un desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación, especiales para su uso en los casos en que se necesite adelantar el uso de las estructuras (No se fabrican en el Perú).

Cemento Portland Tipo IV: Es de bajo calor de hidratación, este cemento debe emplearse donde el grado y la cantidad de calor generado se debe reducir al mínimo recomendable para concretos masivos. Su ganancia de resistencia es más lenta que la del cemento tipo I.

Cemento Portland Tipo V: Recomendables para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos. Este tipo de cemento se fabrica para zonas de trabajo donde exista un ataque bastante agresivo de sulfatos y es de moderado calor de hidratación. De estos 5 tipos, en el Perú solo se fabrican los Tipos I, II y V.

Acero de refuerzo

El concreto es un material débil en tracción, por lo tanto, se le usa junto con acero de refuerzo capaz de resistir los esfuerzos de tracción. Por ejemplo, en una viga sometida a flexión, el concreto se encarga de resistir las compresiones y las barras de acero longitudinal, colocadas cerca de la superficie en tracción, se encargan de resistir las tracciones originadas por la flexión. Adicionalmente se suele colocar refuerzo transversal, en la forma de estribos, que ayudan a resistir los esfuerzos de tracción diagonal en el concreto causados por las fuerzas cortantes.

El acero también se utiliza para ayudar al concreto a soportar los esfuerzos de compresión, por ejemplo, en el caso de las columnas o elementos que trabajan en compresión o flexocompresión.

Esto ayuda a reducir las secciones transversales de las columnas y se puede entender si se compara la resistencia en compresión de un concreto normal, digamos de 210 kg/cm^2 , con la resistencia del acero de refuerzo que utilizamos en nuestro medio que es de $4,200 \text{ kg/cm}^2$, es decir cada centímetro cuadrado de acero equivale a 20 cm^2 de concreto trabajando en compresión.

Para que el acero trabaje de manera efectiva es necesario que exista una fuerte adherencia entre el concreto y el acero, para asegurar que no ocurran movimientos relativos (deslizamientos) entre las barras de refuerzo y el concreto circundante. Esta unión o adherencia, proviene básicamente de tres fuentes: de la adhesión del tipo químico que existe en la interface entre el acero y el concreto, de la rugosidad natural que tienen las superficies del refuerzo de acero laminado en caliente y de las corrugaciones (resaltes) con las cuales se fabrican las barras de refuerzo corrugadas. Esta última fuente es la más importante para la adherencia, y solo está presente en las barras corrugadas, en las barras lisas solamente existen las dos primeras fuentes.

Adicionalmente existen otras características que conducen a un comportamiento satisfactorio del conjunto acero – concreto, estas son:

Los coeficientes de dilatación térmica del acero y del concreto son similares. Esto permite que no se forme agrietamiento en el concreto debido a las deformaciones térmicas.

El concreto que rodea a las barras de refuerzo provee una buena protección contra la corrosión del acero. La resistencia al fuego del acero desprotegido no es buena, por su alta conductividad térmica y por el hecho de que sus propiedades mecánicas se reducen notablemente cuando es expuesto a temperaturas elevadas. El concreto protege al acero de la exposición a temperaturas elevadas, como las que se producen en un incendio, permitiendo aumentar el tiempo de exposición a las temperaturas altas que es capaz de resistir una estructura.

Barra de refuerzo laminadas en caliente

El refuerzo de acero se distribuye normalmente en barras o varillas de sección básicamente circular, con resaltes o corrugaciones en la superficie para mejorar la adherencia con el concreto. Los aceros lisos casi no se usan como refuerzo, salvo el de 1/4” que se utiliza en nuestro medio, para el refuerzo de retracción y temperatura en los aligerados y para estribos de columnas y elementos secundarios. Los aceros lisos, que en los inicios del concreto armado eran los únicos disponibles, hoy en día han sido completamente remplazados por los corrugados, con lo cual se ha logrado una mejora sustancial en la adherencia acero – concreto.

En el Figura 1; se muestran los principales tipos de corrugaciones de los aceros de refuerzo. El acero que se utiliza en nuestro medio tiene resaltes similares a los de la tercera columna de la misma figura. La Norma ASTM A615

especifica la altura mínima.

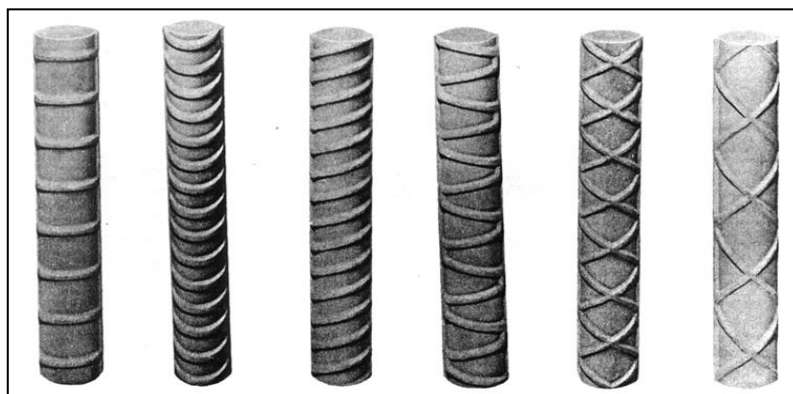


Figura 1. *Tipos de Corrugación en las barras de refuerzo*

Fuente: Propiedades de los Aceros – Aceros Arequipa (2003)

En la Tabla 7, adaptada de la ASTM, se resumen las principales características de las varillas de refuerzo. Las barras de producción nacional se ajustan a estas características.

Las barras de producción nacional vienen en longitudes de 9 m, bajo pedido Aceros Arequipa puede fabricar barras de 12 m de longitud.

Sider Perú y Aceros Arequipa fabrican, adicionalmente a las barras de 3/8", 1/2", 5/8", 3/4", 1" y 1-3/8", barras de 8 mm y de 12 mm. Aceros Arequipa fabrica también barras de 6 mm corrugadas.

Tabla 7.

Características de las Varillas corrugadas

CARACTERÍSTICAS DE LAS VARILLAS DE ACERO CORRUGADO					
Design.	Diámetro (in)	Diámetro (mm)	Área (cm²)	Peso (kg/m)	Observaciones
2	1/4	6.40	0.32	0.250	Liso
3	3/8	9.50	0.71	0.560	
4	1/2	12.70	1.29	0.994	
5	5/8	15.90	2.00	1.552	
6	3/4	19.10	2.84	2.235	
8	1	25.40	5.10	3.973	
11	1 3/8	35.80	10.06	7.907	
6 mm *		6.00	0.28	0.222	
8 mm		8.00	0.50	0.395	
12 mm		12.00	1.13	0.888	
7	7/8	22.20	3.87	3.042	No disponible
9	1 1/8	28.70	6.45	5.060	No disponible
10	1 1/4	32.30	8.19	6.404	No disponible
14	1 11/16	43.00	14.52	11.380	No disponible
18	2 1/4	57.30	25.81	20.240	No disponible

Fuente: Propiedades del Concreto – Aceros Arequipa (2003)

(*) Acero de 6 mm corrugado. También se comercializa en rollos

Calidad del acero de refuerzo

Las principales características que deben tener los aceros de refuerzo, están descritas en la Norma Peruana en el artículo 3.4 y en ACI-02 artículo 3.5.

Los aceros de refuerzo que se producen en el Perú (SiderPerú, Aceros Arequipa) deben cumplir con alguna de las siguientes Normas:

- Norma Peruana Itintec 341.031-A-42. Acero Grado 60.

- Norma ASTM A615. Acero Grado 60.
- Norma ASTM A706. Acero de baja aleación, soldable. Grado 60.

La Norma A615 cubre los aceros de refuerzo que se utilizan con mayor frecuencia, en nuestro medio son prácticamente los únicos que utilizamos. La citada Norma, no limita la composición química de los aceros, salvo el contenido de fósforo.

La Norma A706 cubre los aceros para aplicaciones especiales en las cuales la soldabilidad, la facilidad de doblado y la ductilidad, sean consideraciones importantes para la elección del acero. Limita la composición química del acero de tal modo que el carbono equivalente sea menor que el 0.55%. El carbono equivalente se calcula en función del contenido de Carbono, Manganeso, Cobre, Níquel, Cromo, Molibdeno y Vanadio.

Las calidades del acero que cubre la Norma ASTM y que es posible emplear, como refuerzo para el concreto, se resumen en la Tabla 8, se indica el esfuerzo de fluencia (f_y) mínimo y máximo, el esfuerzo máximo o último (f_u) mínimo, a este último también se le denomina resistencia a la tracción (tensile strength).

Tabla 8.

Calidad del acero de refuerzo

CALIDADES DEL ACERO DE REFUERZO					
Grado	ASTM	f_y min	f_y max	f_u min	f_u/f_y
		(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(min)
40	A 615	2,800	--	4,200	--
60	A 615	4,200	--	6,300	--
75	A 615	5,300	--	7,000	--
60	A 706	4,200	5,500	5,600	1.25

Fuente: Norma ASTM – A615, A706-15-Barras de construcción

Cabe resaltar que, en el Perú, tanto Acero Arequipa S.A. como SiderPerú, los únicos productores de acero corrugado, solo fabrican acero de refuerzo Grado 60. La mayoría del acero disponible en nuestro medio, se ajusta a la Norma ASTM A615. Aceros Arequipa, bajo pedido, fabrica acero A706 solo en los diámetros de 5/8", 3/4" y 1". Este acero es soldable, desgraciadamente es más caro que el A615 y su uso no se ha difundido.

Nótese en el Tabla 8, que la ASTM A615 fija únicamente los valores mínimos de f_y y de f_u , no especifica un valor máximo para f_y . En contraste la Norma A706 sí especifica un valor máximo para f_y de 5,500 kg/cm².

En general los fabricantes de acero se preocupan por cumplir con el valor mínimo de f_y . Los ensayos de laboratorio indican que el valor de f_y real puede ser mayor que el nominal, no es de extrañar valores de f_y un 10% a 30% por encima del nominal, tal como se aprecia en el Figura 2. 01 (MacGregor) correspondiente a muestras de la producción de acero Grado 60 en los Estados Unidos. En esta muestra el 10% de los ensayos mostraron un f_y 33% mayor que el valor nominal, con un coeficiente de variación cercano al 9% y muy pocos resultados por debajo del f_y nominal.

Un valor de f_y real muy por encima del nominal no es conveniente, ya que el elemento tendrá una marcada sobre resistencia en flexión la que puede ocasionar una falla frágil por esfuerzo cortante.

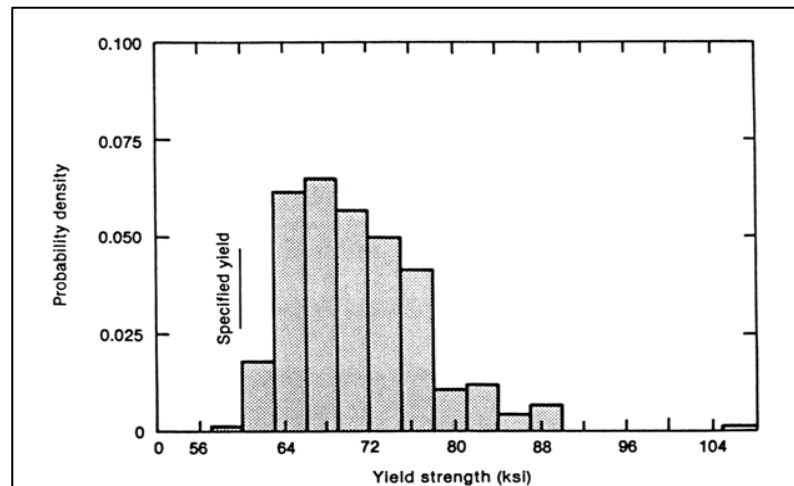


Figura 2. Distribución de los esfuerzos de fluencia medidos en ensayos de tracción. Aceros Grado 60.

Fuente: MacGregor/Distribución de esfuerzos en aceros grado 60 (1997)

Propiedades mecánicas de las barras de refuerzo

En la Figura 3 (MacGregor) muestra curvas típicas idealizadas esfuerzo – deformación, de los aceros de refuerzo Grado 40, 60 y 75. También se muestra en línea punteada la curva típica para los alambres con los cuales se fabrican las mallas electro soldadas (Welded wire fabric).

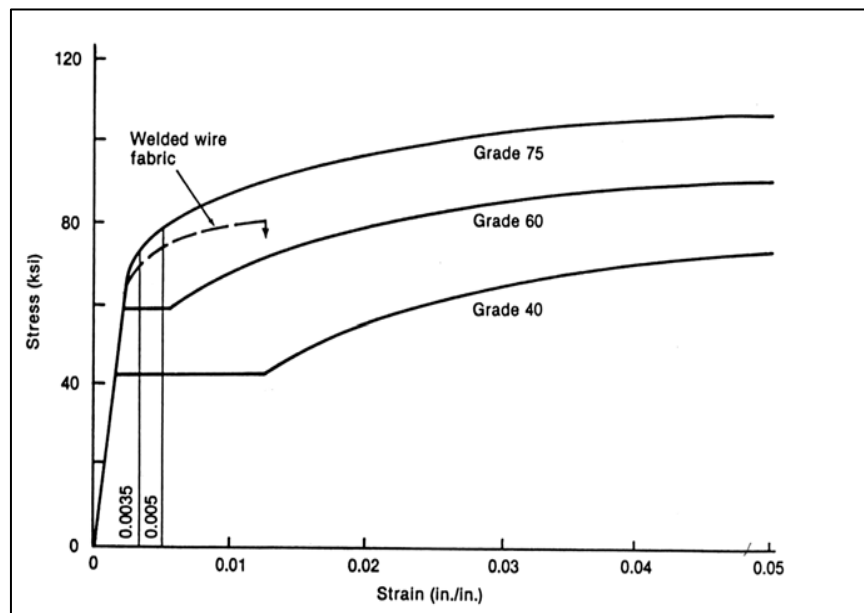


Figura 3. Curvas esfuerzo – deformación típica

Fuente: MacGregor/Deformación de las barras de acero (1997).

La Figura 4 (adaptada de Fintel) muestra algunas curvas fuerza – deformación típica de aceros con distintas calidades (40, 60 y 75) y distintos diámetros. Las curvas corresponden a la producción de acero Norteamericana.

Para los aceros Grado 40 y 60 se observan claramente las plataformas de fluencia, mientras que los aceros de mayor resistencia, como el Grado 75 y los alambres para mallas electro soldadas, ya no exhiben tal plataforma.

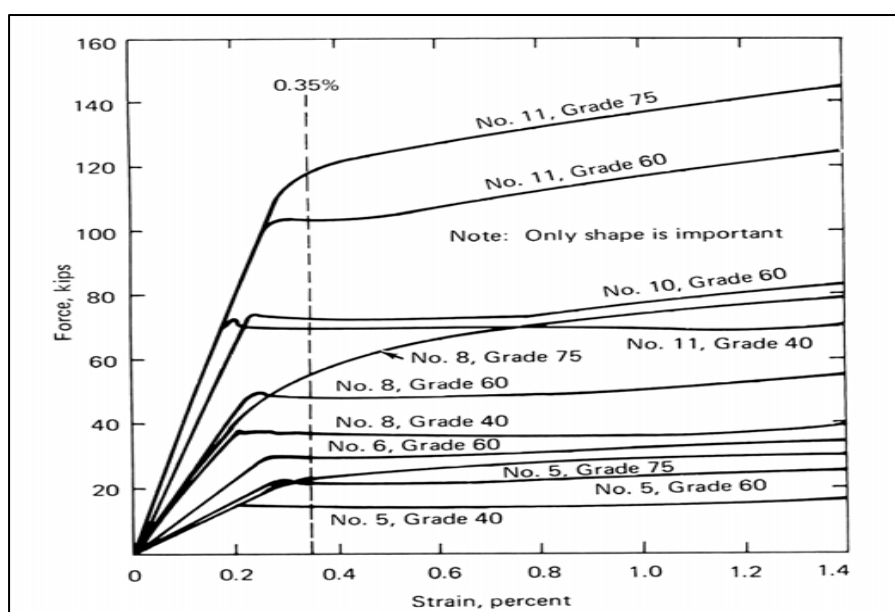


Figura 4. Deformación típica de las barras de acero.

Fuente: MacGregor/Deformación de las barras de acero (1997)

Los aceros Grado 60 pueden o no presentar plataforma de fluencia, dependiendo de la composición química y del proceso de fabricación. En el caso que no exista una fluencia clara, la Norma ASTM A615 especifica que la fluencia se calculará para una deformación del 0.5% para el Grado 60 y de 0.35% para el Grado 75 (ver Figura 5).

Para los aceros con una resistencia especificada mayor que la correspondiente al Grado 60 ($f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$) el ACI exige que el esfuerzo de fluencia (en este caso virtual) se calcule para una deformación de 0.35% como se indica en la figura 5.

Los aceros que se producen en el Perú, suelen presentar un escalón de fluencia definido, salvo los aceros “trabajados en frío”. Los gráficos N° 2-4 muestra los resultados de los ensayos de dos barras de 5/8” Grado 60, fabricadas por Aceros Arequipa. Se muestran también las curvas de descarga y recarga las que son paralelas a la recta inicial de carga. Solo se muestra un tramo de la curva, la gráfica se ha interrumpido mucho antes de la rotura de las barras.

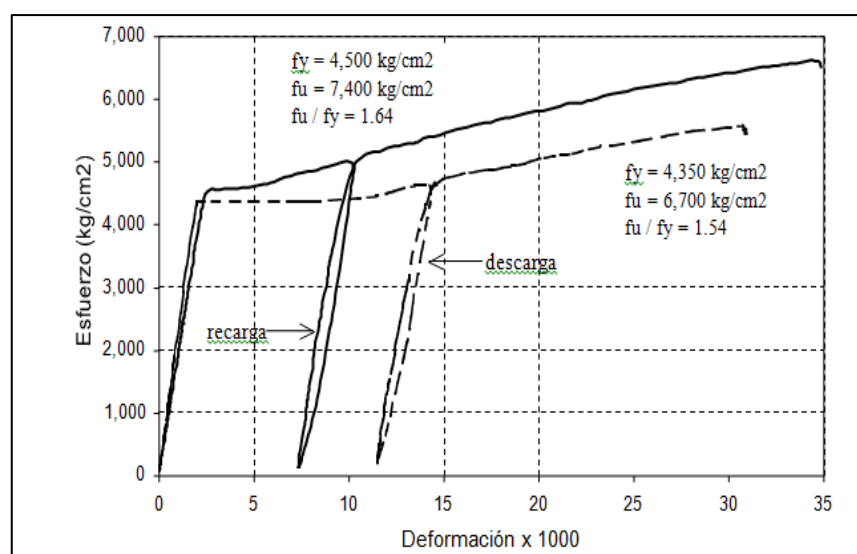


Figura 5. Curvas típicas para aceros nacionales de 5/8" grado 60.

Fuente: MacGregor/Deformación de las barras de acero nacional. (1997)

El ACI (artículo 9.4) especifica que los diseños no deben basarse en un esfuerzo de fluencia de la armadura - f_y - que exceda de $5,600 \text{ kg/cm}^2$, salvo para aceros de preesforzado. La Norma Peruana y el ACI, en elementos con responsabilidad sísmica, no permiten el empleo de aceros con una resistencia especificada a la fluencia superior al Grado 60.

La Norma ASTM especifica el alargamiento o elongación de rotura mínima (medido en los ensayos en una longitud de 8") que deben tener los aceros de refuerzo. Para el acero Grado 60 el alargamiento mínimo debe estar entre el 7% y 9% dependiendo del diámetro. La Tabla 8 resume los requerimientos para el acero Grado 60.

El alargamiento o elongación es una medida de la ductilidad del acero. Obsérvese en la Tabla 3. 09 que la Norma ASTM exige para el acero A706 una elongación mínima alrededor del 50% mayor que la correspondiente al acero fabricado bajo la A615, en consecuencia, el A706 es bastante más dúctil y su empleo es recomendable en zonas de alta sismicidad.

Tabla 9.

Elongación mínima de rotura

ELONGACIONES MÍNIMAS DE ROTURA		
Designación	A615 Grado 60	A706 Grado 60
Barras # 3, 4, 5, 6	9%	14%
Barras # 7, 8	8%	12%
Barras # 9, 10, 11	7%	12%

Fuente: Norma ASTM – A615, A706-15-Barras de construcción.

Propiedades de las barras grado 60

Características Mecánicas – ASTM A615:

- $f_y \text{ min} = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ (fluencia nominal, valor mínimo).
- $f_u \text{ min} = 6,300 \text{ kg/cm}^2$ (esfuerzo máximo o último o resistencia a la tracción).
- $E_s \gg 2'000,000 \text{ kg/cm}^2$ (módulo de elasticidad).
- Deformación en el inicio de la fluencia $\epsilon_y = (f_y / E_s) > 0.0021$
- Longitud de la plataforma de fluencia = variable.
- Deformación de rotura > Deformación de fluencia (30 a 40 veces).
- Elongación a la rotura entre el 7% y 9% (Tabla 3-3).

- Coeficiente de dilatación $> 11 \times 10^{-6} \text{ } 1/\text{C}^\circ$. Valor muy parecido al del concreto el cual es $10 \times 10^{-6} \text{ } 1/\text{C}^\circ$. Ambos coeficientes de dilatación dependen de la temperatura.

Tecnología del concreto

Enrique Pascual Carbajal (1998), Es el campo de la Ingeniería Civil que abarca el conjunto de conocimientos científicos orientados hacia la aplicación técnica, práctica y eficiente del concreto en la construcción.

En su desarrollo y utilización intervienen varias ciencias interrelacionadas, como son la Física, la Química, las Matemáticas y la investigación experimental.

A diferencia de otros campos de la Ingeniería en que se puede ejercer un control bastante amplio sobre los parámetros que participan en un fenómeno, en la Tecnología del Concreto cada elemento que interviene, bien sea el cemento, el agua, los agregados, los aditivos, y las técnicas de producción, colocación, curado y mantenimiento, representan aspectos particulares a estudiar y controlar de modo que puedan trabajar eficientemente de manera conjunta en la aplicación práctica que deseamos.

Generalmente tenemos una serie de limitaciones en cuanto a modificar a nuestra voluntad las características de los factores que intervienen en el diseño y producción del concreto, por lo que cada caso supone una solución particular, en la que tiene importancia preponderante la labor creativa de los profesionales que tienen a su cargo definirla e implementarla en la práctica, ya que paradójicamente, los ingredientes de un concreto bueno y uno malo son en general los mismos si no sabemos emplearlos adecuadamente, por lo que no es una tarea simple el diseñar y producir concreto de buena calidad.

En este punto, es necesario establecer que el concreto de buena calidad es

aqué que satisface eficientemente los requisitos de trabajabilidad, colocación, compactación, resistencia, durabilidad y economía que nos exige el caso singular que estemos enfrentando.

Afortunadamente, la acumulación a nivel mundial de casi un siglo de conocimientos científicos sobre el concreto y sus componentes, nos provee de las herramientas para afrontar y solucionar la mayoría de problemas de la construcción moderna.

Si tenemos la curiosidad de acceder a la gran cantidad de bibliografía disponible procedente de instituciones como el American Concrete Institute, el Comité Europeo del Concreto y el Japan Concrete Institute entre otros, apreciaremos que el mayor esfuerzo se centra hacia seguir investigando en este campo, con igual o mayor énfasis que sobre los métodos de análisis y diseño estructural, por cuanto aún no se dan por resueltos todos los fenómenos y problemas inherentes al diseño y producción de concreto y cada día surgen otros como consecuencia del desarrollo de las necesidades humanas.

Una idea errada en cuanto a la Tecnología del Concreto en nuestro medio reside en suponer que es un campo limitado a los laboratoristas y a los “expertos en diseños de mezclas, connotaciones con las que se distorsiona su alcance conceptual y se pierde de vista que cualquier profesional de la Ingeniería Civil involucrado directa e indirectamente con la construcción, debe experimentar, profundizar y actualizar sus conocimientos en este campo para asegurar una labor técnica y eficiente.

Gonzales y Gonzales (1962), semana que el concreto ha sido definido así como un sistema de dos fases, una de las cuales, la pasta del cemento presenta un comportamiento viscoso, mientras que la otra, formada por los agregados, muestra un comportamiento casi elástico. Estando los agregados rodeados y separados entre ellos por la pasta de cemento. Resulta así, la definición de un material heterogéneo, cuya estructura particular posibilita un comportamiento

inelástico; siendo las deformaciones de la fase viscosa susceptible de ser modificadas por el tiempo y las condiciones de curado, creando tensiones internas considerables. Por otra parte a los problemas de diseño y construcción, característicos de las fábricas de piedra, de índole mecánica según las formas y las masas de los elementos, se unen en las construcciones de concreto multitud de otros factores, que deben ser conocidos y apreciados por el Ingeniero, que interviene directamente en su fabricación desde una primera instancia. Así pues, ha de estudiar el tipo y calidad de los áridos, los problemas de fraguado y endurecimiento del aglomerante, la dosificación del conjunto, su fabricación y puesta en obra, su comportamiento bajo la acción de las cargas y de los agentes destructivos. Una nueva ciencia, de alta calidad experimental, tiende a solucionar estas cuestiones. Ella es la Reología, que estudia e investiga la estructura física de las pastas, su deformación y relación con las propiedades requeridas en cada tipo de construcción.

En el caso del concreto normal conocemos que, al ser usado en pavimentos, tiene principalísima importancia la resistencia a la tracción, al rozamiento e intemperismo y la relación que guardan con el tipo de áridos, la compacidad, etc. Igualmente, en el caso del concreto en grandes masas, es necesario tener en cuenta la retracción y dilatación debida a las temperaturas de fraguado y la influencia del tipo del cemento, el curado y forma de la puesta en obra. En las obras portuarias de concreto, es preciso considerar la acción de sucesivos choques o impactos, así como la acción destructora del agua de mar, incidiendo en la calidad y compacidad del agregado, la hidraulicidad de la pasta, etc.

Agrietamientos

Hay dos causas principales por las cuales el concreto se agrieta, una de ellas es por los esfuerzos aplicados y la otra por la contracción debida al secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción. La contracción por secado es una propiedad inevitable del concreto, por lo cual se utiliza acero de refuerzo

en las posiciones adecuadas para reducir los anchos de la grieta o bien, juntas que predeterminen y controlen la ubicación de las grietas. Si no existe una causa que impida el movimiento del concreto y ocurren contracciones, el concreto no se agrieta. Las restricciones pueden ser provocadas por causas diversas. La contracción por secado siempre es mayor cerca de la superficie del concreto; las porciones húmedas interiores restringen al concreto en las cercanías de la superficie, con lo que se pueden producir agrietamientos. Las juntas son el método más eficaz de controlar las grietas. Si en una superficie considerable de concreto no se realizan juntas de contracción el concreto se agrietará de manera aleatoria.

Flores y Sáenz (2003) afirman que en el concreto endurecido hay otras causas de agrietamiento, entre las que están:

Causas químicas:

- Composición del cemento o carbonatación
- Oxidación del acero de refuerzo
- Reactividad de los agregados

Causas físicas:

- Contracción por secado
- Contracción térmica
- Calor de hidratación
- Variaciones externas de temperatura
- Concentraciones de esfuerzos
- Refuerzo
- Forma estructural
- Flujo plástico

Diseño estructural

- Cargas mal consideradas
- Asentamientos diferenciales
- Mala disposición de juntas

Accidentes:

- Sobrecargas
- Vibraciones
- Sismos
- Incendios

Proceso de Agrietamiento: Para poder encontrar la solución es necesario primero conocer la causa. Por ejemplo, si una barra de concreto, de una longitud L , en una condición de temperatura y humedad y libre de esfuerzos, se seca y se enfría sin restricciones, sufrirá una contracción, disminuyendo su longitud, sin desarrollar esfuerzos, por lo tanto, sin agrietamiento. Pero, si la misma barra, antes de someterla a un proceso de secado o enfriamiento, se empotra en los extremos, al ocurrir la contracción se produce un esfuerzo de tensión y si éste resulta mayor que la resistencia a tensión del concreto se produce el agrietamiento, pues durante el secado además de producirse la contracción, el concreto desarrolla resistencia y, simultáneamente, el fenómeno de flujo plástico que tiende a disminuir el esfuerzo a tensión: cuando el esfuerzo a tensión neto a cualquier edad iguala a la resistencia del concreto, se genera la grieta.

Factores que afectan el agrietamiento

Sucede por dos tipos de variables: las debidas al concreto mismo, sus componentes y, en segundo lugar, por las variables externas.

Variables en el concreto:

Agua: a mayor cantidad de agua se incrementa la posibilidad de agrietamiento, pues a mayor cantidad de agua se aumenta la contracción y se reduce la resistencia.

Cemento: Entre más consumo de cemento se tenga, mayor será la tendencia del concreto a agrietarse.

Agregados: La forma y granulometría de los agregados afecta igualmente en el agrietamiento del concreto. Para agregados con un tamaño máximo no muy grande la contracción será mayor para una resistencia igual, debido a que se requiere más pasta para cubrirlos.

Aditivos: Los reductores de agua disminuyen la contracción por secado, los retardantes aumentan la deformabilidad del concreto en estado plástico disminuyendo el agrietamiento. Los aditivos acelerantes, en general, aumentan la contracción, pero como sube la resistencia y el flujo plástico, no siempre causan agrietamiento.

Sangrado: Cuando el agua fluye hacia arriba se producen zonas de pasta blanda por debajo de las partículas de grava grandes y del acero de refuerzo, principalmente en losas de mucho peralte donde se generan zonas débiles y por consiguiente grietas interna.

Curado: cuando la velocidad de evaporación supera a la de sangrado, la capa superficial del concreto sufre contracción, ésta se restringe por la capa inferior y se producen grietas por contracción plástica.

La temperatura ambiente afecta la velocidad de secado del concreto en estado fresco, así como la velocidad de endurecimiento; por otra parte, establece la longitud base durante las primeras horas, hasta que el concreto desarrolla cierta rigidez.

A partir de esta longitud base, los cambios de temperatura producen cambios volumétricos y, por consiguiente, un agrietamiento. Las losas de piso o pavimentos colados en clima frío son menos susceptibles al agrietamiento que cuando el trabajo se efectúa en clima caliente, pues los cambios de temperatura afectan la longitud base, generalmente produciendo expansión que no es tan crítica como la contracción.

Fibras

La Norma ASTM C 1116 (2003), define a las fibras como “filamentos delgados en forma de paquetes, redes o de cualquier material natural o manufacturado que puede ser distribuido en todo el concreto fresco.

Empleo de la fibra en el agregado del concreto

Se ha señalado antes que la resistencia a la compresión y a la tensión del concreto está íntimamente relacionada; sin embargo, no hay una proporcionalidad directa. Cuando la resistencia a la compresión del concreto se incrementa, la resistencia a la tensión también se incrementa, pero a una velocidad decreciente. En otras palabras, la relación de la resistencia tensión/compresión depende del nivel general de la resistencia a la compresión.

Ordinariamente, el concreto contiene numerosas microgrietas. La rápida propagación de las microgrietas bajo un esfuerzo aplicado, es la responsable de la baja resistencia del concreto a la tensión del material. Inicialmente, se suponía que la resistencia a la tensión, igual que a la flexión del concreto, podían incrementarse sustancialmente introduciendo fibras cercanamente espaciadas que obstruirían la propagación de las microgrietas, retrasando así el inicio de las grietas pos tensión, e incrementando la resistencia a la tensión del material.

La debilidad en tensión puede ser superada por el uso de refuerzo convencional de varilla y, en cierta medida, por la inclusión de un volumen suficiente de ciertas fibras.

Se tiene evidencia de que los antiguos egipcios usaron paja para reforzar los ladrillos de lodo. Estén evidencias de que la fibra de asbesto fue utilizada para reforzar los postes de arcilla hace aproximadamente 5 000 años. En la naturaleza también se ha utilizado la fibra como refuerzo. El hornero es un pequeño pájaro nativo de Argentina, Chile, Bolivia y otros países de Sudamérica; este pájaro ha estado construyendo afanosamente nidos de arcilla reforzados con paja, en las cimas de los árboles antes de que apareciera el hombre.

Las fibras son generalmente utilizadas en el concreto para controlar el encogimiento, las grietas y resquebrajamiento por efecto del secado.

Asimismo, la menor permeabilidad del concreto y, por tanto, reducir el escurrimiento de agua. En general, las fibras no aumentan la flexión del concreto, por lo que no puede sustituir el refuerzo estructural de acero. Algunas fibras pueden reducir la resistencia del concreto.

Los beneficios de la fibra en el concreto son:

Mejorar la cohesión de la mezcla

- Mejorar la resistencia a ciclos de congelación-deshielo
- Mejorar la resistencia a explosiones en caso de un gran incendio
- Mejoran la resistencia al impacto
- Aumentar la resistencia a la reducción plástica

En la actualidad se sabe que el asbesto es relacionado con potenciales peligros para la salud; antes se usaban fibras de dicho material como refuerzo para el concreto, pero después de haberse descubierto que era peligroso se inició la búsqueda de posibles sustitutos que le proporcionaran al concreto las propiedades tan favorables que el asbesto le daba, además de ser competitivos en calidad. Actualmente, las fibras de acero, de vidrio y, más recientemente, las de polipropileno, son alternativas viables para reforzar al concreto. Pero últimamente se han realizado estudios a otro grupo de fibras llamadas “naturales” para verificar si se obtenían los resultados que se tenían con las fibras de asbesto.

Las fibras de acero, plástico, vidrio y materiales naturales podemos encontrarlas con diferentes características, como la forma; pueden ser cilíndricas, llanas, onduladas (rizadas) y deformadas con longitud típica de 60 mm a 150 mm y espesor variado de 0.005 mm a 0.075 mm. Los concretos convencionales y los que llevan un porcentaje de fibra funcionan de la misma manera, sólo existen algunas cosas que los diferencian:

- ✓ El sistema convencional, el acero sólo se coloca donde el análisis lo determina necesario, en cambio las fibras se distribuyen de manera aleatoria en la sección transversal del concreto.

- ✓ Las fibras son relativamente cortas y el espaciamiento es muy corto entre ellas, a diferencia de las barras de acero continuo que se utilizan en el sistema convencional.
- ✓ Con el uso de fibras no es posible lograr la misma relación área de refuerzo-área de concreto si se compara con la red de refuerzo de barras.

Las fibras se agregan al concreto en porcentajes pequeños, por lo general menos del 1%, y esto ha mostrado eficiencia en el control de la fisuración por contracción. La contracción natural del concreto no se altera considerablemente con la utilización de las fibras, pero si se usan cantidades adecuadas, sí es posible logra la reducción del agrietamiento y la disminución de las fisuras.

Tipos de fibras

Fibras de acero: Las fibras de acero son pedazos cortos y discontinuos de acero con aspecto y esbeltez entre 20 y 100 mm y con variadas secciones transversales. Las fibras de acero se pueden clasificar por su manufactura, según la norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM) A 820 de la siguiente manera:

Tipo 1.- Estas son fibras de alambre de acero conformado en frío y son las más fáciles de encontrar en el mercado.

Tipo 2.- Estas son fibras cortadas de la chapa de acero.

Tipo 3.- Estas fibras son extraídas de la fundición, se fabrican por métodos muy

complicados donde una rueda en rotación levanta el metal líquido. El metal se congela rápidamente y toma la forma de las fibras. Estas fibras tienen forma de medialuna.

Tipo 4.- Otras fibras.

Las fibras de acero se agregan en volúmenes que oscilan entre 0.25% y 2%, volúmenes mayores reducen la trabajabilidad y la dispersión de éstas en la mezcla. La adición de 1.5% de fibras de acero puede aumentar un 40% la resistencia a la tracción directa.

Según Kosmakta (2004) menciona que la durabilidad del concreto reforzado con fibras de acero depende de los mismos factores que un concreto convencional. Estas fibras están protegidas ante la alta corrosión y se puede aumentar su adherencia a la matriz por medio de la rugosidad que se les dé.

Algunos de los usos de las fibras de acero en concretos son: pavimentos de aeropuertos, capas de revestimiento de las pistas, tableros de puentes (cubiertas para puentes), pisos industriales, pavimentos de autopistas, entre otras.

Fibras de vidrio: Se han realizado constantes estudios sobre las fibras de vidrio, en los años 60 se usaron fibras de acero convencional de borosilicato (fibras de vidrio-E) y fibras de vidrio de sílice-cal-soda (fibra de vidrio-A). Las pruebas realizadas en estas fibras dieron como resultado que reaccionarán de manera negativa con la pasta de cemento y reducirán la resistencia de concreto. Esto condujo a la fabricación de fibras resistentes a los álcalis del cemento, que aumentaron la resistencia a largo plazo, pero se encontraron otros factores que disminuían la resistencia. Uno de esos factores es la rigidización de los filamentos por la infiltración de hidróxido de calcio (producto de la hidratación

del cemento) entre las fibras. Las teorías más aceptadas sobre la pérdida de la resistencia y ductilidad en concreto reforzadas con fibras de vidrio se basan en la reactividad con los álcalis y la hidratación del cemento.

- Cuando el álcali ataca las fibras de vidrio, se reduce la resistencia a la tracción (tensión) y, consecuentemente, la resistencia a la compresión también baja.
- La hidratación del cemento provoca la infiltración de hidróxido de calcio en la fibra, provocando con esto la adherencia a la matriz del concreto y la rigidización, que provoca la disminución a la tensión debido a que se inhibe el arrancamiento de la fibra.

Fibras sintéticas: Estas fibras son producidas por el hombre y son resultado de investigación y de las industrias petroquímicas y textiles. Algunos tipos de estas son: acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. A diferencia de otras fibras, éstas poseen la cualidad de reducir la contracción plástica y, consecuentemente, la fisuración y pueden ayudar al concreto después de que se fisura.

Según Hussin y Zakaria (1990), menciona que algunos de los problemas asociados con las fibras sintéticas son:

- ✓ Baja adherencia fibra-matriz.
- ✓ Pruebas de desempeño no concluyentes para volúmenes bajos de fibras de polipropileno, polietileno, poliéster y nylon.
- ✓ Bajo módulo de elasticidad de las fibras de polipropileno y polietileno.
- ✓ Alto costo de las fibras de carbón y de aramida.

Las fibras sintéticas más usadas son las de polipropileno, que son químicamente inertes, hidrofóbicas y ligeras (livianas). Estas son monofilamentos cilíndricos que se pueden cortar en longitudes específicas.

Además, estas fibras pueden reducir el revenimiento y el asentamiento de las partículas de los agregados, y reducen el descascaramiento del concreto de alta resistencia y del concreto de baja permeabilidad expuestos al fuego y a un ambiente muy húmedo.

Las fibras acrílicas se usan para la fabricación de tablonos de cemento y tejas.

El porcentaje de fibras es hasta de 3% para que se comporte como un compuesto de asbesto-cemento y es que las fibras acrílicas van a ser el sustituto de las fibras de asbesto.

Las fibras de aramida son de las más resistentes que existen, especialmente a la tensión (tracción). Este tipo de fibras son 2.5 veces más resistentes que las de vidrio-E y 5 veces más resistentes que las de acero, además de que en altas temperaturas trabajan de manera excelente, retienen resistencia, tienen estabilidad dimensional resistencia a la fatiga estática, dinámica y resistencia a la fluencia. Las fibras de carbón fueron desarrolladas principalmente por sus propiedades de alta resistencia y elasticidad y propiedades de rigidez para la aplicación en la industria aeroespacial. Estas fibras son de fabricación muy costosa si se comparan con las otras fibras sintéticas y su desarrollo comercial es limitado. Las fibras de carbón son resistentes a casi la mayoría de químicos.

Las fibras de nylon se producen generalmente para uso en vestuario, muebles, y aplicaciones textiles, pero sólo hay dos tipos de éstas para uso en concreto: las de nylon 6 y las de nylon 66. Estas se tejen de polímeros de nylon y, por medio de extrusión, estiramiento y calentamiento, se transforman. Para usos en concreto, se tejen hilos de alta tenacidad o resistencia a la tensión. Las fibras presentan alta tenacidad, ductilidad y recuperación de la elasticidad. Suelen ser fibras hidrófilas, por lo que la cantidad de agua en el concreto debe incrementarse, sin embargo, esto no afecta la hidratación y trabajabilidad del concreto.

Fibras naturales: Estas han sido utilizadas desde los primeros tiempos puestos que no se conocía el refuerzo convencional de acero que ahora existe, algunos ejemplos son los ladrillos de barro con paja y los morteros reforzados con excremento de caballo. Las fibras naturales, por lo general, se usan para concretos con bajo contenido de fibras.

Según Juárez (2004) manifiesta que las fibras naturales se dividen, a su vez, en procesadas y no procesadas. Los concretos fabricados con fibras naturales han presentado buenas propiedades mecánicas, pero tienen problemas de durabilidad. Algunas de las fibras naturales que se han utilizado son las del coco, sisal, bambú, yute, madera y fibras vegetales estas fibras son típicamente llamadas fibras naturales no procesadas. Sin embargo, las fibras naturales pueden ser procesadas químicamente para mejorar sus propiedades. Estas fibras son generalmente derivadas de la madera.

Las fibras de madera son obtenidas mediante un proceso llamado reducción a pulpa. Uno de los procesos más usados en la extracción de fibras de celulosa es el llamado “Kraft”. Este proceso consiste en cocinar la viruta de la madera en una solución de hidróxido de sodio, carbonato de sodio y sulfuro de sodio.

Si se les compara con las fibras obtenidas industrialmente, como las de polipropileno, polietileno, poliéster y acrílicas, las fibras de celulosa poseen buenas propiedades mecánicas. Debido a que los procesos no son altamente industrializados se dispone de fibras naturales en los países en desarrollo.

Aunque históricamente muchas fibras han sido usadas para reforzar varios materiales de construcción, ha sido hasta ahora que se han estudiado las fibras naturales como refuerzo, ya que anteriormente su uso se limitaba exclusivamente a la producción de ropa, colchones y cobijas. Las fibras naturales están disponibles en grandes cantidades en muchos países en desarrollo y representan una fuente renovable continua. México es un país que posee abundante producción de fibras naturales.

A finales de los años 60, se llevó a cabo en otros países una evaluación sistemática de las propiedades de ingeniería de las fibras naturales y de los compuestos formados por estas fibras con el cemento. Los resultados de las investigaciones indican que las fibras pueden ser usadas con éxito para fabricar materiales de construcción. Los productos hechos con cemento Portland y fibras naturales no procesadas tal como el sisal, coco, caña de azúcar, bambú, yute, madera etc., se han probado para determinar sus propiedades de ingeniería y su posible uso en la construcción en, al menos, 40 diferentes países.

Propiedades mecánicas de las fibras naturales: Las fibras naturales necesitan tener adecuadas propiedades mecánicas para ser consideradas como posible refuerzo en matrices de cemento. En los últimos 30 años los investigadores interesados en este tema realizaron un gran número de trabajos para obtener esta información.

A continuación, se presenta la Tabla 3. 10, un resumen de las propiedades físico mecánicas de fibras naturales con mayor uso como refuerzo de concreto.

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS FIBRAS NATURALES							
Tipo de fibra	Longitud mm.	Diámetro mm	Densidad Absoluta g/cm ³	M. Elasticidad Gpa	R. Ultima a Tensión Mpa	Elongac. A la Ruptura %	Absorción de Agua %
Yute	1800 - 3000	0.10 - 0.20	1.02 - 1.04	26 - 32	250 - 350	1.5 - 1.9	62
Lino	500			100	1000	1.8 - 2.2	
Bambú	2500 - 3500	0.05 - 0.40	1.52	33 - 40	350 - 500		40 - 45
Caña de Azucar	50 - 300	0.20 - 0.40	1.20 - 1.30	15 - 19	170 - 290		70 - 75
Sisal		0.10 - 0.50		13 - 26	280 - 568	0.3 - 0.5	60 - 70
Henequén		0.36	1.4		91 - 307	2.3 - 7.6	163.1
Pasto de eleaianle		0.45		5	178	3.6	
Plátano		0.43	0.298	1.4	92	5.9	276
Mu samba		0.82		0.9	83	0.7	
Coco	50 - 350	0.10 - 0.40	1.12 - 1.15	19 - 26	120 - 200	0.10 - 0.25	130 - 180

Figura 6. *Propiedades mecánicas típicas de las fibras naturales*

Fuente: Cesar A. Juarez, Propiedades de las fibras (2002)

Según Mehta y Monteiro (1998), un cemento es llamado hidráulico cuando los productos de hidratación son estables en un medio acuoso. El cemento hidráulico más común para fabricar concreto es el portland y consiste principalmente de silicatos de calcio hidráulico. Así también definen, que el concreto hidráulico es un material compuesto que consiste esencialmente de un medio conglomerante formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua, dentro del cual se hallan ahogadas partículas o fragmentos de agregados.

Los agregados pueden ser la arena, la grava o escoria de acero de alto homo.

El comité 544 del Instituto Americano del Concreto (ACI), define que el concreto reforzado con fibras está constituido por los siguientes materiales:

Cemento portland: Se recomienda que cumpla con las normas ASTM C 150 o C 595 o las equivalentes. Puede ser utilizado el ordinario (CPO), el compuesto (CPC) o los cementos con mayor contenido de silicato tricálcico (SiCa₃) y aluminato tricálcico (AlCa₃) que reducen el efecto retardante del fraguado

producido por la glucosa presente en las fibras.

Agregados: Es recomendable que cumpla con la norma ASTM C 33 o su equivalente. Normalmente el concreto reforzado con fibras se fabrica con tamaños de agregado menores a 4.75 mm, por lo que también pueden ser llamados morteros. Sin embargo, en esta tesis se usará el término de concreto.

Agua y aditivos: El agua a utilizar deberá ser potable, se pueden agregar aditivos acelerantes para disminuir la influencia de la glucosa, aditivos fluidificantes para mejorar la trabajabilidad de la mezcla y también fungicidas para prevenir el ataque de bacterias y hongos.

Fibras naturales: Pueden ser utilizadas diversos tipos de fibras naturales como las descritas con anterioridad. No puede generalizarse el contenido de fibra ni su longitud, ya que cada tipo tiene sus valores idóneos. Se recomienda que estén libres de carbohidratos y sin señales aparentes de ataque de microorganismos.

Para fabricar concreto reforzado con fibras, generalmente se utiliza el siguiente método de mezclado:

Mezclado húmedo.- Se utiliza un bajo contenido de fibras. Primero se colocan los agregados, se agrega el cemento con el agua y posteriormente los aditivos, todo es mezclado en una revolvedora mecánica. Finalmente se agrega la fibra tratando de dispersarla en la mezcla. El procedimiento de mezclado deberá cumplir con la norma ASTM C 94 o equivalente.

El colado se puede realizar con equipo convencional usando vibradores internos o externos para su mejor compactación. El procedimiento de mezclado, colado y compactado es muy similar al sugerido para concretos reforzados con

fibras de acero, vidrio o plásticas. Sin embargo, éste relativamente nuevo material de construcción requiere de cuidados especiales para evitar que se afecten sus propiedades. En la figura 7, se presentan los diferentes factores que pueden hacer variar las propiedades del concreto. Este listado no es exhaustivo, pero enfatiza la complejidad para producir un concreto de buena calidad. El tipo y la longitud de la fibra, así como también el volumen de la fibra en la mezcla, son los factores que más influyen en la resistencia del concreto.

DISEÑOS Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO	
Factores	Variables
Tipo de fibra	Coco, Sisal, maguey, caña de azúcar, bambú, yute, madera, pasto de elefante, platano y musamba
Geometría de la fibra	Longitud, diámetro, sección, transversal, anillos y puntas
Conformación de la fibra	Monofilamento, multifilamentos, rizado y nudos simples
Condiciones superficiales	Hongos, presencia de recubrimientos
Propiedades de la matriz	Tipo de cemento, tipo de agregado y granulometría, tipos de aditivos
Diseño de la mezcla	Contenido de agua, relación agua/cemento, trabajabilidad y contenido de fibra
Método de mezclado	Tipo de mezcladora, secuencia al agregar los ingredientes, método para agregar las fibras, duración y velocidad de mezclado
Método de compactación	Vibración convencional, por presión y por impacto
Técnica de colocado	Colado convencional, lanzado o por extrusión
Método de curado	Convencional, métodos especiales.

Figura 7. *Reforzados con fibras naturales.*

Fuente: Cesar A. Juarez, Propiedades de las fibras (2002)

Las propiedades mecánicas de los concretos reforzados con fibras varían cuando está en estado fresco y cuando ha endurecido.

Concreto fresco: La adición de fibras naturales a la mezcla tiende a reducir la trabajabilidad, debido principalmente a la absorción de agua, al incremento del área superficial y especialmente a la forma y tamaño de las fibras en relación con las otras partículas que constituyen la mezcla. Esto es importante, ya que una mezcla muy seca tendrá problemas de compactación originando huecos en el producto final y una distribución no uniforme de las fibras. Por otra parte, una mezcla con alto contenido de agua disminuirá considerablemente la resistencia mecánica del compuesto endurecido. Otro aspecto importante es la tendencia

que tienen las fibras de aglomerarse entre sí, esto ocurre principalmente cuando se tiene una alta relación de aspecto (longitud/diámetro) de la fibra. Al aglomerarse las fibras producen una segregación en la mezcla y se incrementa la porosidad del concreto.

También, se ve afectada la resistencia y se producen variaciones entre especímenes de una misma mezcla. Algunos métodos de mezclado se pueden usar para minimizar este problema, normalmente agregando las fibras en forma progresiva después que han sido mezclados los otros ingredientes. Sin embargo, las fibras permiten que la mezcla en estado fresco tenga la suficiente plasticidad para ciertas aplicaciones, como por ejemplo, en placas delgadas de pasta de cemento o mortero y cascarones como estructuras arquitectónicas.

Concreto endurecido: El concreto simple posee una excelente resistencia a la compresión, sin embargo, es frágil. Las fibras proporcionan ductilidad al concreto y permite mejorar propiedades tales como la tensión, la flexión, el impacto y la tenacidad, mientras que la resistencia a la compresión en algunas ocasiones es afectada adversamente con respecto al concreto simple. El micro agrietamiento se reduce distribuyendo los esfuerzos internos. El comportamiento plástico posterior al agrietamiento es considerablemente afectado por la adherencia, el volumen y la longitud de las fibras, además de las propiedades mecánicas de éstas. La adherencia puede verse afectada debido a la expansión de la fibra dentro de la mezcla húmeda, y la posterior contracción por secado.

Otras propiedades que se han evaluado son la absorción de energía, aspectos térmicos tales como conductividad, difusividad, calor específico y coeficiente de expansión térmica. Adicionalmente, se han investigado propiedades acústicas como la absorción y la transmisión del sonido, así también, la permeabilidad, la absorción de agua y las características de expansión – contracción.

Dimensiones de las fibras vegetales/naturales

Las fibras se encuentran en varias partes de la planta, corteza, tallo tronco, ramas, hojas, pero son más frecuentes en los tejidos vasculares. En función de la localización de la fibra en la planta, se las clasifica en tres grupos:

- Fibras Blandas, cuando la fibra se encuentra en el floema de los tallos; se presenta en las dicotiledóneas, por ejemplo, en el lino, yute o cáñamo (*Cannabis sativa*).
- Fibras Duras, cuando las fibras se encuentran en el floema de las hojas en forma de haces que se superponen unos con otros, lo que los hace más fuertes por su mayor lignificación; se presenta en las monocotiledóneas, por ejemplo: maguey, cabuya (*Furcraea andina*) o abacá (*Musa textilis*).
- Fibras De Superficie, que corresponde a los pelos de la epidermis de la semilla, por ejemplo: en el algodón.

Fibra Agave Lechuguilla

El agave de lechuguilla es una fibra natural, dura y resistente, la cual se obtiene al procesar la materia prima conocido como penca. Esta es una planta perteneciente a la familia de las agaváceas, originaria de América Tropical, aunque se presenta específicamente en las regiones Andinas.

El género *Agave* pertenece a la familia de las Agaváceas y comprende numerosas especies originarias de las zonas desérticas de América. La mayor parte de las plantas son monocárpicas, es decir que florecen una sola vez en su vida y después de la floración y la maduración de los frutos, mueren. Tiene espléndidas hojas verde-grises, espinosas a lo largo de los márgenes y terminando en un gran aguijón. Es una planta que crece bastante rápidamente alcanzando la madurez en pocos años. Es el *Agave* más difundido y conocido en todo el mundo, en las zonas cálidas-templadas porque es el más tolerante, entre las muchas especies, a temperatura y también por su capacidad de crecer en

maceta.

Según Couffs (1987) en su investigación denominado “Fibre Matrix interface in Air Cured Wood-Pulp Fibre-Cement Composites” nos manifiesta que: la lechuguilla es una fuente excelente de fibra dura, de alta resistencia y durabilidad, es altamente resistente a solventes químicos, calor, ácidos y productos abrasivos como ácidos diluidos y concentrados, alcoholes, destilados de petróleo, es resistente en agua a altas temperaturas (en una exposición continua de hasta 150°C); tiene una alta retención de líquidos. Dado que absorbe 65% más de agua que las fibras sintéticas, posee una única aspereza de su superficie debido a los cristales de oxalato de calcio incrustados en la misma; por lo tanto, por sus características no existe en la actualidad un sustituto sintético para la fibra de lechuguilla y dada su versatilidad de uso y bajo costo, se puede emplear tanto en la industria, comercio y uso doméstico.

Obtención de la fibra

La fibra de lechuguilla se obtiene del cogollo, el cual lo integran las hojas más tiernas de la planta, que están agrupadas al centro de ésta. Del cogollo se obtiene la fibra de mejor calidad y de mayor valor comercial.



Figura 8. *Agave Lechuguilla (penka) – Fibra (proceso)*

Fuente: El Autor.

Método de extracción de la fibra agave lechuguilla

Existen dos formas para la extracción de la fibra de lechuguilla: (1) tallado a mano y (2) tallado a máquina. Actualmente, en la zona del Callejón de Conchucos, en la ciudad de San Marcos, con el empleo de máquinas desfibradoras se ha hecho más eficiente la obtención de fibra. El desfibrado mecánico ha desplazado en forma considerable al tallado manual, ya que demanda un menor esfuerzo físico en el desfibrado, aumenta la producción y por consiguiente se obtienen mayores ingresos económicos en un menor tiempo. Sin embargo, en otras regiones del país, caso específico en la zona de Toclá - Olleros, el tallado manual todavía constituye el método tradicional de extracción de fibra.

Para el desfibrado manual, el productor selecciona un sitio donde iniciará la construcción de una media sombra para protegerse de la insolación directa y de las altas temperaturas que imperan en estas áreas. La construcción rústica de la media sombra se realiza con varas y ramas de algún arbusto, principalmente del eucalipto; posteriormente, se inicia la instalación de la “tallandería”, que consiste básicamente en el uso de utensilios tradicionales como el tallador (cuchillo sin filo), banco y “bolillos”. Una vez construida la media sombra, el tallador se articula a un tronco o estaca suficientemente grueso y firmemente clavado al suelo y con la ayuda de un trozo de madera llamado banco se inicia el desfibrado de las hojas.

Tallado manual

Una vez terminada la tallandería rústica, se toma el cogollo y se procede a separar las hojas de mayor dimensión (hojas tallables) y se desechan aquellas más tiernas y de menor tamaño localizadas al centro del cogollo. Regularmente, de un cogollo se obtienen de 6 a 8 hojas tallables (con longitud y dureza de fibra adecuada). La maniobra del tallado consiste en separar la fibra de la parte carnosa o parénquima de la hoja. Para el tallado o desfibrado de las hojas se

utiliza el tallador, que es un utensilio puntiagudo y sin filo, que al hacer presión sobre las hojas y tallar contra el trozo de madera (banco) y con la ayuda del bolillo más grueso, el productor estira las pencas (hojas) logrando pasarlas entre el tallador y el banco en dirección a su cuerpo; el productor separa el tejido de la fibra, que a través de este procedimiento finalmente extrae la fibra. Esta actividad se conoce comúnmente como “despunte”.

La operación anteriormente descrita se realiza hoja por hoja y cuando se ha realizado la misma operación en unas ocho pencas, se juntan las fibras y se enredan nuevamente en el bolillo de menor diámetro para proceder a tallar una por una todas las partes troncales del cogollo, es decir la base de la hoja; este último proceso se conoce como “destronque”. Finalmente, la fibra se extiende en capas delgadas y se deja secar al sol por un período de 2 a 3 horas. Bajo este método de extracción un productor obtiene aproximadamente 6 kg de fibra en una jornada laboral (8 horas).



Figura 9. Tallado manual para la obtención de la fibra de Agave Lechuguilla.

Fuente: El Autor

Tallado mecánico

La extracción mecánica de la fibra de lechuguilla se inició en la década de 1970, cuando surgen las primeras máquinas “ripiadoras”, cuyo diseño consistía de un tambor macizo de madera con clavos y que funcionaba a base de energía eléctrica.

Para lograr el desfibrado de las hojas, los cogollos se introducen a través de un hueco de una caja donde se encuentra girando el rodillo, en este proceso los clavos van separando los tejidos de la fibra. Los cogollos se meten en la máquina en un sentido y en otro, primero las puntas y luego la base del cogollo. En ciertos casos hay pérdida en el producto final debido a que en el proceso de desfibrado la fibra se mezcla con el “guishe” (líquido que drena de las hojas durante su proceso y que provoca ardor al contacto con la piel).

El tallado mecánico (con maquinaria) genera aspectos positivos y negativos para la comercialización de la fibra. Un aspecto negativo se debe a la menor calidad de la fibra, derivado del maltrato mecánico que sufre ésta por los clavos y a una mayor cantidad de residuos orgánicos que quedan adheridos en ella, además, la fibra sufre de manchado durante el proceso de desfibrado y no se seca uniformemente, por lo cual, al obtener menor calidad se tiene menor precio por su venta. Sin embargo, con el desfibrado a máquina el productor puede tallar mayor cantidad de fibra por jornada laboral y con menor esfuerzo, lo que repercutirá (en función del volumen) en mayores ingresos económicos. Bajo este proceso de tallado, el productor puede obtener, dependiendo del material colectado, hasta 100 kg de fibra en 8 horas de trabajo, contra sólo 6 kg que obtiene cuando el tallado lo realiza manualmente.



Figura 10. *Tallado mecánico, extracción de la fibra de Agave Lechuguilla, por el tambor eléctrico, donde la fibra se maltrata en el proceso.*

Fuente: El Autor

Uso de la fibra de agave lechuguilla

Dada las características mencionadas anteriormente, se emplea para la elaboración de diversos utensilios domésticos como estropajos, cepillos y la confección de lazos y cordelería en general. Estos utensilios son fabricados de manera artesanal por los productores con fines de autoconsumo y ocasionalmente a pequeña escala comercial.

Vigas

Es un elemento estructural por lo general dispuesto horizontalmente, soporta cargas externas y las transmite a los elementos de apoyo. Posee una sección transversal de dimensiones menores a su longitud.

Estos elementos trabajan con cargas puntuales o distribuidas aplicadas perpendiculares a su eje longitudinal, por esta particularidad predomina el diseño a flexión y corte.

Según Pérez, Mateos y Gómez (1992) en su estudio “Estudio de vigas”, dice

q las vigas pueden construirse con diferentes materiales, cuando se lo hace en madera y concreto presentan generalmente una sección transversal cuadrada o rectangular, mientras que cuando se emplea acero se tiene diversos tipos de perfiles laminados.

Vigas de concreto simple armado

Una viga simplemente armada es aquella que tiene únicamente el refuerzo para la zona traccionada. Según V. Pérez (1993) en su libro “Elementos sometidos a flexión” y Medina Armado” (2011), en su libro “Hormigón sostiene que los posibles tipos de fallas a flexión que se presentan en vigas simplemente armadas son:

Falla a tensión: Inicia con la fluencia del acero antes que el concreto llegue a su capacidad máxima $0.85 f'_c$, es decir $f_s = f_y$. Los indicios de peligro son evidentes con aparición de grandes deflexiones y fisuras en el concreto. Se puede señalar que esta falla ocurre por un bajo contenido de acero de refuerzo. Entonces tenemos vigas sub- reforzada.

Falla a compresión: se da cuando el concreto alcanza su límite $0.85 f'_c$ (colapso) antes que el acero ceda. La falla es instantánea y se produce por el alto contenido de acero de refuerzo. La viga es sobre-reforzada.

Falla balanceada: Ocurre cuando simultáneamente el concreto llega a su límite de deformación máxima en compresión de 0.003, mientras que el acero alcanza su punto de fluencia.

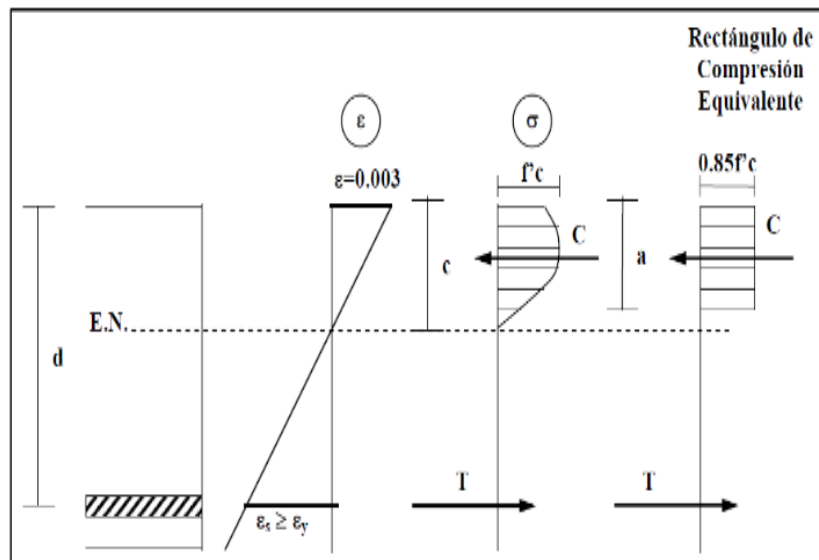


Figura 11. Rectángulo de compresión equivalente bajo las cargas últimas.

Fuente: M. Romo, "Diseño a Flexión de Vigas de Hormigón Armado", (2008).

Donde:

f'_c : resistencia a la compresión del concreto

f_s : esfuerzo unitario de tensión en el refuerzo longitudinal.

f_y : esfuerzo de fluencia del acero

ϵ_s : deformación unitaria del acero

ϵ_y : deformación unitaria de fluencia

d : peralte efectivo, medido desde la cara en compresión de la viga hasta el centro del acero de refuerzo longitudinal en tracción.

Viga de concreto doblemente armado

Una viga sometida a flexión puede requerir a más del refuerzo de tracción refuerzo a compresión, esto se conoce como viga doblemente armada o viga con refuerzo a compresión.

Según Medina, (2011), en su libro “Hormigón Armado”, dice que, debido a limitaciones arquitectónicas, constructivas, u otras circunstancias no es posible incrementar la sección transversal de la viga por lo que es necesario una viga doblemente reforzada. La colocación del acero de refuerzo en la zona de compresión, se debe a la necesidad constructiva del elemento ya que es imprescindible tener varillas a lo largo de la luz, de manera que sirvan de soporte de los estribos. Se ha encontrado que el introducir acero de refuerzo en la zona de compresión produce una disminución de deflexiones que se producen a largo plazo dentro del elemento.

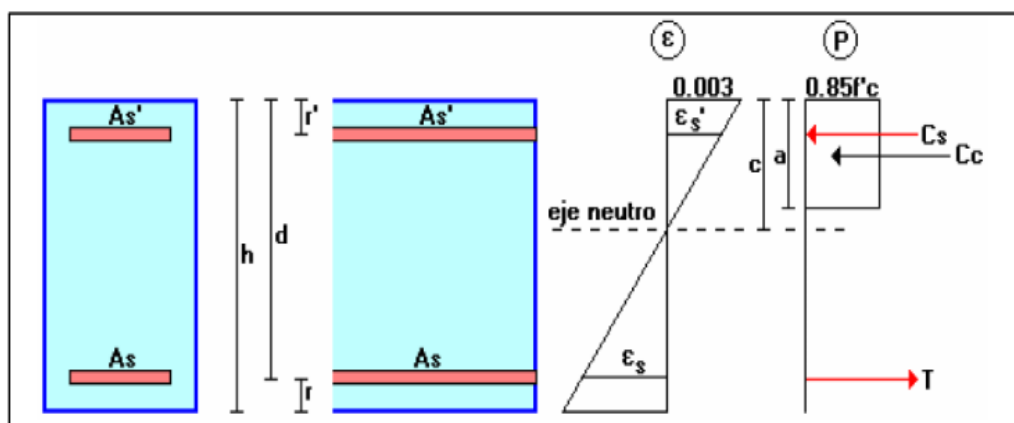


Figura 12: Deformaciones y esfuerzos en vigas rectangulares con armadura de tracción y de compresión.

Fuente: M. Romo, “Diseño a Flexión de Vigas de Hormigón Armado”, (2008).

Donde:

r : recubrimiento en la zona de tracción

r' : recubrimiento en la zona de compresión

h : altura de la viga

d : peralte efectivo, medido desde la cara en compresión de la viga hasta el centro del acero de refuerzo longitudinal en tracción.

A_s : área de refuerzo longitudinal a tracción

A_s : área del refuerzo longitudinal a compresión

ϵ_s : deformación unitaria en el acero de tracción

ϵ'_s : deformación unitaria en el acero de compresión

C_s : fuerzas de compresión en el acero

C_c : fuerzas de compresión en el concreto

Vigas T

Según Medina (2011), en su libro “Hormigón Armado” y Gonzáles (2005), en su libro “Secciones T”, nos dicen que las vigas T son vigas que soportan losas de concreto construidas monolíticamente con ellas, resultando una sección transversal de la viga en forma de T en vez de rectangular. Una viga T está formada por el patín que es la parte que forma la losa y el alma que es la nervadura o la parte proyectada debajo de la losa.

Al momento de construir estas vigas se obtiene una reducción en su peso si la comparamos con una viga rectangular, pero se emplea más encofrados y se dificulta la elaboración de estos. Estas vigas son uno de los sistemas de piso más utilizados en estructuras de concreto reforzados.

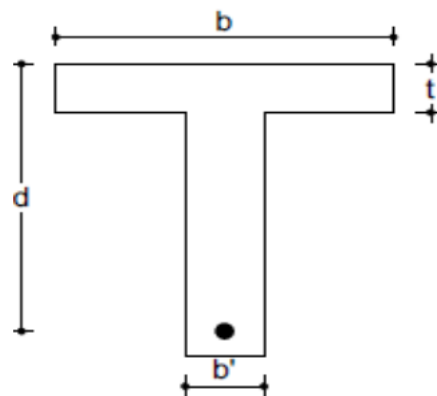


Figura 13. *Diseño de la viga “T”.*

Fuente: W. Medina, “Hormigón Armado- Nivel I”, Ambato, (2011).

Donde:

b: ancho efectivo del ala

b': ancho del alma

t: espesor del ala

d: peralte efectivo, medido desde la cara en compresión de la viga hasta el centro del acero de refuerzo longitudinal en tracción.

Parámetros de diseño de vigas

Cortante: Según Parker (1978), en su libro “Cortante y Momento Flexionante en Vigas”, nos dice que el cortante suele definirse como la tendencia de una parte de la viga a deslizarse verticalmente con respecto a la parte adyacente; su magnitud en cualquier punto a lo largo de la viga es la suma algebraica de las fuerzas verticales a uno u otro lado de la sección.

Según Romo (2008), en su libro “Diseño a Cortante de Vigas de Hormigón Armado”, nos dice que la fisuración de tracción por cortante domina la zona cercana a los apoyos y es contrarrestada con estribos transversales y varillas longitudinales dobladas a 45°.

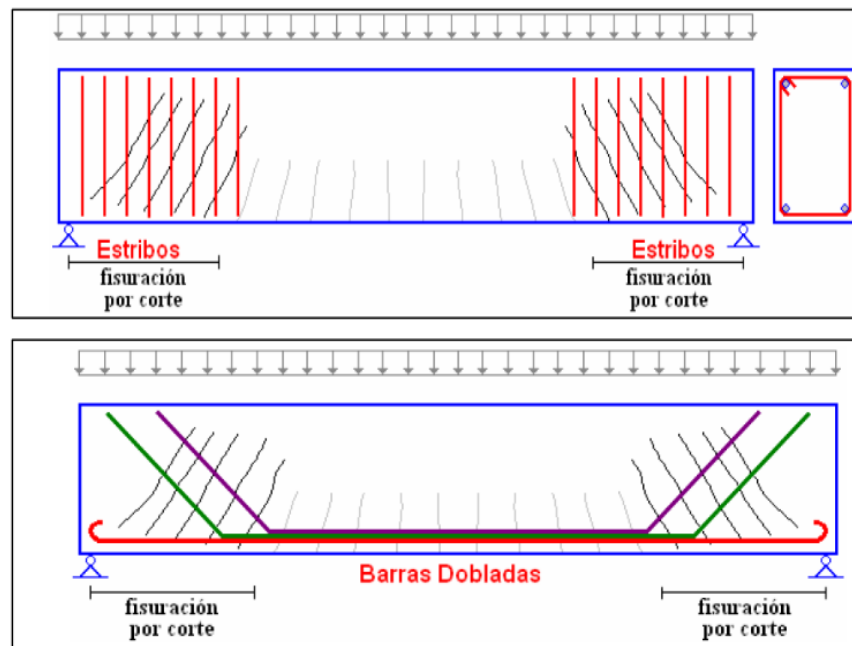


Figura 14. Armadura transversal y diagonal que cose a las fisuras de cortante.

Fuente: M. Romo, “Diseño a Corte de Vigas de Hormigón Armado”, (2011).

Torsión: Según E. Menéndez y Velasco (2005), en su libro “Esfuerzos y Cargas en una Estructuras”, nos dice que la torsión es la tendencia del elemento estructural a retorcerse por la acción de un momento, que lo constituyen un par de fuerzas que generan un giro. Según Nilson (1999), en su libro “Torsión Diseño de Estructuras de Concreto”, nos dice que las fuerzas de torsión rara vez actúan solas y casi siempre están acompañadas por momentos flectores, por cortantes transversales y algunas veces por fuerzas axiales.

Romo (2008), en su libro “Torsión en elementos de Hormigón Armado”, nos dice que la zona crítica a cortante por torsión (cercana a los apoyos en pórticos espaciales) generalmente ocupa la misma posición que la posición crítica a cortante puro.

Deflexión

Para Ceballos (2014), nos dice que la deflexión es el grado que se desplaza un elemento estructural en dirección perpendicular a su eje, bajo la aplicación de

una carga o una fuerza.

Las deflexiones de los elementos de concreto armado están en función del tiempo y por lo tanto son de dos clases:

- ✓ Deflexión instantáneas (Δi).- se deben al comportamiento elástico de la estructura y se producen inmediatamente después de la aplicación de la cargas, también tiene relación con las condiciones de apoyo al que está sometida la viga.
- ✓ Deflexión a largo plazo (Δlp).- son consecuencia del creep y la contracción del concreto ocasionado por cargas sostenidas a lo largo del tiempo, influye también la temperatura, la humedad, las condiciones de curado, la cantidad de refuerzo de compresión y la edad del concreto al aplicar la carga.

Según la Norma E.060, Concreto Armado, especifica que la deflexión total es decir la deflexión instantánea más la deflexión a largo plazo ($\Delta t = \Delta i + \Delta lp$) calculadas de acuerdo a las fórmulas señaladas en este código no debe exceder de los límites establecidos en la figura 15.

DEFLEXIONES MÁXIMAS ADMISIBLES		
Tipo de elemento	Deflexión considerada	Límite de deflexión
Techos planos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva.	$L / 180^*$
Pisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes	Deflexión inmediata debida a la carga viva.	$L / 360$
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales susceptible de sufrir daños debido a deflexiones grandes	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión debida a cualquier carga viva adicional)	$L / 480$
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales no susceptible de sufrir daños debido a deflexiones grandes		$L / 240$

Figura 15. Deflexiones máximas admisibles.

Fuente: American Concrete Institute (ACI) “Requisitos de reglamento para Concreto Estructural” (ACI 318S – 08)”, (2008).

Flexión: La flexión es la deformación que presenta un elemento estructural al ser sometido a un esfuerzo o carga determinada, los elementos estructurales sujetos frecuentemente a flexión son vigas y losas. La flexión provoca esfuerzos de compresión en la parte superior del elemento, mientras que en la parte inferior de este provoca esfuerzos de tracción.

Tipos de flexión: Según E. Rincón (2006) en su libro “Medidas en flexión de Resistencia de Materiales”, nos dice que dependiendo de los esfuerzos que acompañen al momento flector se pueden distinguir los siguientes tipos a flexión:

- **Flexión pura:** se origina cuando en toda la sección recta del elemento solo existe un momento flector, siendo nulos los demás esfuerzos.

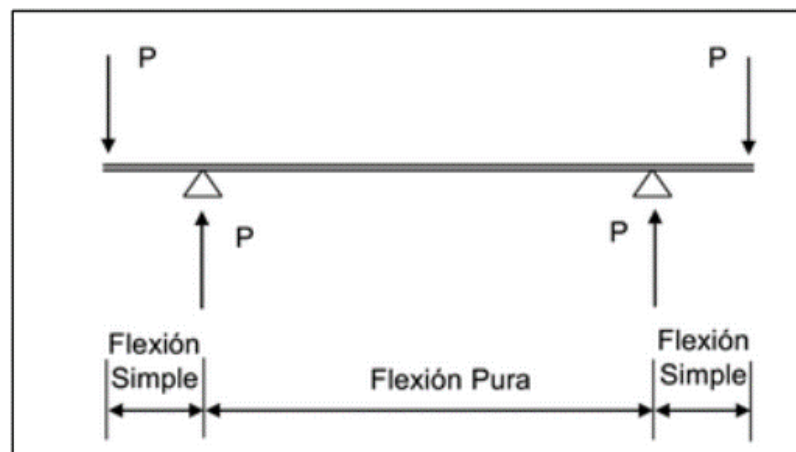


Figura 16. Viga sometida a flexión pura entre sus apoyos.

Fuente: E. Rincón, L. Castro y D. Iglesias “Medidas en Flexión”, (2006).

- **Flexión simple:** un elemento está sometido a flexión simple cuando en toda la sección recta del elemento existe, además del momento flector, un esfuerzo cortante, siendo nulos los demás esfuerzos, es uno de los casos más frecuentes de flexión.

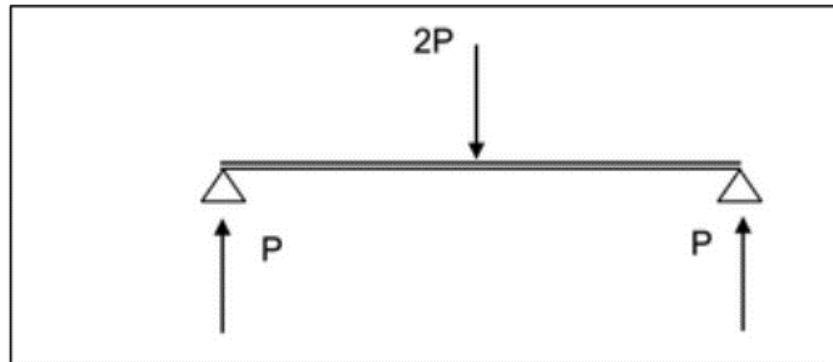


Figura 17. *Viga viapoyada trabajado a flexión simple.*

Fuente: E. Rincón, L. Castro y D. Iglesias “Medidas en Flexión” (2006)

- **Flexión compuesta:** se produce cuando en toda la sección recta del elemento existe, además de los casos de flexión considerados anteriormente, un esfuerzo normal de tracción o compresión.

Método de ensayo a flexión

Con el aporte de la norma E.060 se determina la resistencia a flexión del concreto mediante el uso de una viga simple apoyada cerca a los extremos y cargada en los tercios de la luz libre.

En el siguiente esquema se muestra el ensayo a flexión en el concreto, por el método de la carga en los tercios de la luz.

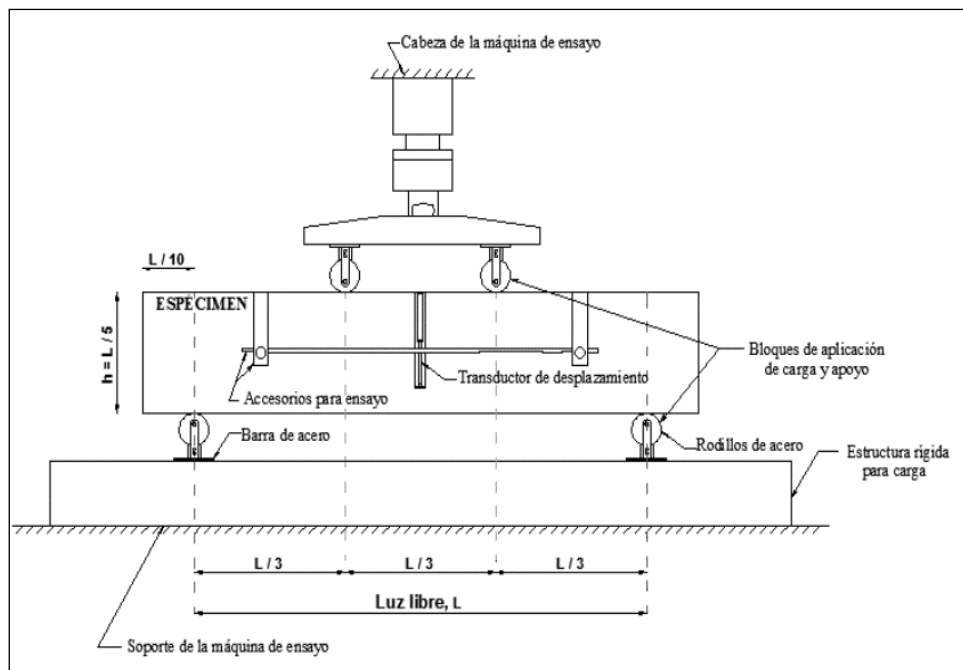


Figura 18. Ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz (ASTM C-78, MTC E-709-2000)

Fuente: Marlon J. Espinoza C. “Estado del Arte de los Concretos Reforzados con Fibras Naturales”, (2015).

Procedimiento:

Las vigas deben ser ensayados tan pronto sean extraídos del recipiente húmedo, puesto que al mostrar superficies secas puede producir una reducción en su resistencia a la flexión.

Las vigas deben estar en la posición como fueron moldeados, sus lados deben formar un ángulo recto con la parte superior e inferior, además las superficies deben estar lisas y libres de asperezas y agujeros.

Posteriormente se debe colocar los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en el tercio medio de la luz libre.

Si el contacto entre el espécimen y el bloque de aplicación de carga no es completo es necesario limar las superficies para eliminar cualquier diferencia mayor a 0.1 mm.

Finalmente se debe aplicar la carga de manera continua a una velocidad constante de 0,010 Mpa/s, hasta el punto de rotura de la viga.

Si la fractura se origina en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, calcular la resistencia a flexión mediante el módulo de rotura con la ecuación:

$$Mr = \frac{P * L}{b * h^2}$$

Donde:

Mr = módulo de rotura, en Kg/cm²

P = carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en Kg

L = Luz libre, en cm,

b = promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en cm,

h = promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en cm.

Si la fractura inicia en la zona de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, por no más allá del 5% de la luz libre se determina así:

$$Mr = \frac{3 * p * a}{b * h^2}$$

Donde:

a = distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga, en cm.

Pero si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, en más de un 5% de la luz libre, descartar los resultados del ensayo.

Concreto u Hormigón: Según Rivva (2008) es considerado el más versátil de los materiales de construcción actuales. Es una Mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agregado fino y grueso. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibra.

Durabilidad: Según Bolívar (2003) nos indica que: De igual manera que el hormigón puede soportar condiciones extremas de exposición, los agregados como constituyentes de él, contribuyen a lo mismo, teniendo como función transferir sus propiedades de resistencia a exposición severa a la masa de hormigón.

Resistencia: Según Bolívar (2003) Manifiesta que : Por lo general en los agregados las partículas tienen una resistencia superior a la de la pasta de cemento, por lo que la resistencia del hormigón no se ve muy afectada por la resistencia del agregado; sin embargo la resistencia del agregado cobra

importancia cuando este falla antes que la pasta de cemento endurecida, bien sea por que se tiene una estructura pobre entre los granos que constituyen las partículas durante el proceso de explotación o por un inadecuado proceso de trituración cuando se trata de conseguir una determinada granulometría.

Resistencia a la compresión: Según Castillo (2009) nos manifiesta que: Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.

Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado.

Agregado grueso: Según (I.C.G. – Perú (2006, R.N.E. - Perú, 2006) "Norma E.060 – Concreto Armado". Agregado retenido en el tamiz ITINTEC 4,75 mm (Nº 4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la Norma ITINTEC.

Agua: Según (I.C.G. – Perú (2006, R.N.E. - Perú, 2006) "Norma E.060 – Concreto Armado". El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser, de preferencia, potable.

Cemento Portland: Según (R.N.E. - Perú, 2006) "Norma E.060 – Concreto Armado". Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire.

Quedan excluidas las cuales hidráulicas, las cuales aéreas y los yesos.

Curado: Según Harmsen (2002) viene a ser el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento.

El curado pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia fuera del concreto. Busca, también, evitar la contracción de fragua hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta.

Fibras en el Concreto: Según Rivva (2008) son elementos discontinuos que se adiciona a la mezcla de concreto para mejorar su resistencia a la flexión y corte, disminuyendo o eliminando su tendencia a agrietarse, ya sea por asentamiento plástico, contracción plástica, contracciones térmicas iniciales, o contracción por secado a largo plazo.

Fibras de Agave lechuguilla: Según Juárez (2002) las fibras de lechuguilla tienen las propiedades físicas mecánicas, tal como su resistencia ultima a la tensión y su flexibilidad, que les permite ser consideradas como posible refuerzo en el concreto.

Nuestra hipótesis sería si se adiciona 5% y 10% de fibra agave lechuguilla, a una viga de concreto armado $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, entonces se obtendrá una mayor resistencia a la flexión que una viga patrón.

Operacionalización de la Variable

Variable Dependiente (Y): Resistencia del concreto armado a la flexión

Tabla 10.

Variable Dependiente (Y) – Resistencia a la flexión

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Resistencia del concreto armado $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a la flexión	La resistencia a la flexión del concreto es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada		Resistencia a la flexión a los 7 días en Kg/cm^2
	http://civilgeeks.com/2011/03/18/resistencia-a-la-flexion-del-concreto/	Resistencia es la propiedad que tiene el concreto de poder soportar determinadas cargas	Resistencia a la flexión a los 14 días en Kg/cm^2
			Resistencia a la flexión a los 28 días en Kg/cm^2

Fuente: El Autor.

Variable Independiente (X): Adición de la fibra agave lechuguilla

Tabla 11.

Variable Independiente (X) – Adición de la Fibra.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Adición de agave lechuguilla	<p>Es una especie de planta suculenta anteriormente clasificada dentro de la familia Agavaceas, ahora subfamilia Agavoidea, dentro de las asparagáceas.</p> <p>Forma una <u>roseta</u> de hojas suculentas de hasta 45 cm de altura y 60 cm de ancho. Las hojas, llamadas “pencas”, son fuertes y rígidas, con puntas endurecidas y muy afiladas.</p> <p>https://es.wikipedia.org/wiki/Agave_lechuguilla</p>	<p>La lechuguilla es una fuente excelente de fibra dura, de alta resistencia y durabilidad, es altamente resistente a solventes químicos, calor, ácidos y productos abrasivos como ácidos diluidos y concentrados, alcoholes, destilados de petróleo, es resistente en agua a altas temperaturas (en una exposición continua de hasta 150°C); tiene una alta retención de líquidos</p>	<p>Adición en corte cada fibra a 3cm, porcentaje de adición en el concreto de 5% y 10% del agave lechuguilla</p>

Fuente: El Autor.

El objetivo general es determinar la resistencia a la flexión en una viga de concreto armado $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, debido a la adición en un 5% y 10% de la fibra de agave lechuguilla (maguey) tratada con parafina, en comparación con a una viga patrón.

- Evaluar los componentes básicos, que conforman a la fibra natural de agave lechuguilla, mediante un análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X, para determinar sus componentes químicos.
- Determinar el índice de acidez y alcalinidad (Ph) de la fibra agave lechuguilla, para posteriormente evaluar su influencia y comportamiento en el concreto.
- Determinar la relación agua/cemento para la mezcla de vigas de concreto homogéneas con la adición del 5%, y 10% de fibras de agave lechuguilla.
- Determinar, analizar y comparar la resistencia a la flexión de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ cuando adicionamos 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla tratadas con parafina a los 7, 14 y 28 días del curado, en comparación a un diseño patrón.

II. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La investigación es de diseño explicativo experimental de nivel cuasi experimental porque es un proceso en el cual estudiaremos el diseño convencional del concreto armado en comparación con el nuevo diseño elaborado con adición de fibra de agave lechuguilla, donde la variable independiente se manipulará para ver su efecto y relación con las variables dependientes. El estudio en su mayor parte se concentrará en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, donde el investigador estará en contacto con los ensayos a realizar obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en los objetivos.

Las muestras son en flexión en vigas de concreto armado, de acuerdo al sistema de diseño experimental, donde se obtiene la muestra para su posterior cálculo y procesamiento de datos, donde se realizarán 3 tratamientos por cada adición de las fibras en 0%, 5% y 10% de su volumen, durante los periodos de curado a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 12.

Tratamiento de las vigas con la fibra

TRATAMIENTO DE LA MUESTRA EN EL LABORATORIO DE LA FIBRA CON EL CONCRETO			
CURADO EN DIAS	FIBRAS EN ADICION (%)		
	0% (Patrón)	5%	10%
7 DIAS	V7-A, V7-B, V7-C	V7-5%A, V7-5%B, V7-5%C	V7-10%A, V7-10%B, V7-10%C
14 DIAS	V14-A, V14-B, V14-C	V14-5%A, V14-5%B, V14-5%C	V14-10%A, V14-10%B, V14-10%C
28 DIAS	V28-A, V28-B, V28-C	V28-5%A, V28-5%B, V28-5%C	V28-10%A, V28-10%B, V28-10%C

Fuente: El Autor.

El conjunto de vigas de concreto armado con diseño de mezcla $f'_c=210$ kg/cm², con Adición de fibra de agave lechuguilla en 5% y 10%, de acuerdo a su resistencia a la flexión.

Las poblaciones destinadas para esta investigación serán moldes para viga de concreto armado ensayadas según NTP 339.206.2007, equivalente al ASTM C -78, MTC E-709-2000.

La muestra está conformada por 27 vigas de concreto armado de $f'_c = 210$ kg/cm² por cada porcentaje de adición de fibra de agave lechuguilla tratada con parafina en 0%, 5% y 10%, distribuida de la siguiente manera:

- 9 vigas de concreto patrón, correspondiente a los 7, 14 y 28 días de curado. (0% de sustitución, viga patrón)
- 9 vigas experimentales con la adición del 5% de la fibra de agave lechuguilla tratada con parafina, correspondientes a los 7, 14 y 28 días de curado. (5 % de sustitución)
- 9 vigas experimentales con la adición del 10% de la fibra de agave lechuguilla tratada con parafina, correspondientes a los 7, 14 y 28 días de curado (10 % de sustitución).

Esto quiere decir que a los 7 días se tendrán 9 vigas experimentales, tres con 0% (viga patrón), tres con 5% y tres con 10% (incluido el agave lechuguilla tratada con la parafina). Preparados para la prueba del ensayo de compresión.

A los 14 días se tendrán 9 vigas experimentales, tres con 0% (viga patrón), tres con 5% y tres con 10% (incluido el agave lechuguilla tratada con parafina). Preparados para la prueba del ensayo de compresión.

Y este último a los 28 días se tendrá 9 vigas experimentales, tres con 0% (viga patrón), tres con 5% y tres con el 10% (incluido el agave lechuguilla tratada con parafina). Preparados para la prueba del ensayo de compresión.

Plan de recolección e información

Tabla 13.

Tabla de recolección de información.

PREGUNTAS	EXPLICACIÓN
¿Qué evaluar?	Las propiedades del concreto fresco: <ul style="list-style-type: none"> • Trabajabilidad • Asentamiento • Homogeneidad • Densidad Las propiedades del concreto endurecido <ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Resistencia a la flexión del concreto
¿Sobre qué evaluar?	Concreto armado y sus componentes <ul style="list-style-type: none"> • Agregado fino y grueso • Cemento • Agua • Fibra de agave lechuguilla
¿Sobre qué aspectos?	La resistencia a la flexión en vigas de concreto armado $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, adicionando el 5% y 10% de la fibra de Agave Lechuguilla
¿Quién evalúa?	Christian Alegre Montalvo y el Ing. Jorge Montañez
¿A quiénes evalúa?	A las vigas de concreto armado las que serán ensayados cuyas dimensiones son: 15x15x50 cm ³ .
¿Dónde evalúa?	Laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales Geotecnia – Concreto - Asfalto de la Universidad San Pedro de Chimbote.
¿Cómo y con qué?	Observación: Apuntes y la máquina de ensayo a flexión.

Fuente: El Autor.

Para el procesamiento y análisis de la información obtenida se registrará los siguientes procedimientos:

- Recolección de la fibra y tratamiento.
- Recolección de agregados.
- Se determinará la composición química de la fibra por fluorescencia de rayos X, alcalinidad, grado de acidez (PH), Resistencia y tratamiento.
- Determinar la relación agua/cemento para las vigas.
- Revisión crítica de la información recolectada; es decir depuración de información defectuosa, contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Tabulación de datos mediante el uso de hojas electrónicas de Excel para una mayor precisión.
- Elaboración de las vigas con el patrón, y la adición del 5% y 10% de la fibra en el concreto.
- Curado de las vigas con el 0%, 5% y 10% de las fibras a los 7, 14 y 28 días para proceder a realizar las pruebas de la resistencia a la flexión de cada viga..
- Representación gráfica mediante barras de los resultados obtenidos.
- Análisis e interpretación de resultados de acuerdo con los objetivos y la hipótesis planteada.
- Verificación de hipótesis.
- Conclusiones y recomendaciones.

III. RESULTADOS

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de los laboratorios de la espectrometría de fluorescencia de rayos X, resistencia última a la rotura de la fibra, PH, grado de acidez y tratamiento con parafina de la fibra de agave lechuguilla; resultados obtenidos de los materiales en el laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales, utilizados en la elaboración del concreto como cálculo y diseño de la mezcla, ensayos de la resistencia a la flexión de las vigas con el 0% , 5% y 10% de la fibra tratada con parafina.

Características de la fibra de agave lechuguilla

La fibra empleada en los ensayos fue adquirida de la zona de CC.PP. de Toclla, Barrio de Condor Pampa, a cinco kilómetros del distrito y provincia de Huaraz, Departamento de Ancash, ubicado entre las coordenadas UTM: E-222449 N-8940367 a una cota 3150 m.s.n.m.

Estas fibras al no tener tratamiento químico alguno, para protegerlas de la descomposición, absorción del agua y el alcalice del cemento por lo que fueron tratadas con la parafina.



Figura 19. Zona de acopio de la Fibra Agave Lechuguilla.

Fuente: Imagen de Google Earth (2012)

Ensayo físico químico (PH – Grado de acidez) fibra Agave Lechuguilla:

Según Zapién (1980), nos dice que los contenidos químicos de la planta del agave lechuguilla son: agua (67.79%), proteína (1.89%), grasa (0.61%), carbohidratos (16.43%), cenizas (4.16%), fibra (9.12 %) y azúcar (0.30%). A nivel molecular, al igual que otras materias orgánicas como la madera, la fibra se compone por celulosa, hemicelulosa y lignina, La celulosa es el principal componente de la fibra. Es un carbohidrato complejo compuesto típicamente por una cadena lineal de miles de unidades individuales de glucosa. En la Figura 20 se puede observar la estructura en forma esquemática de la celulosa.

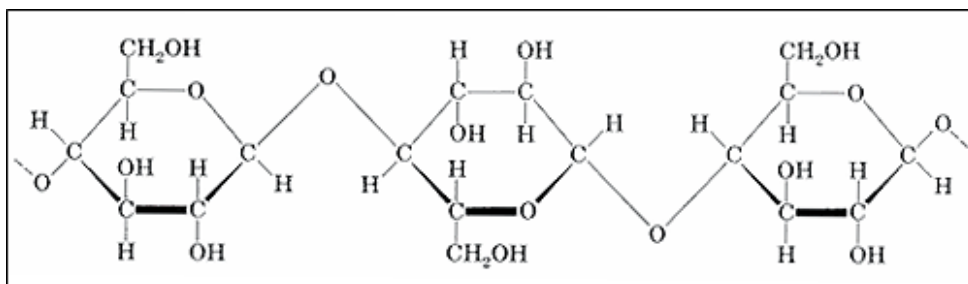


Figura 20. Representación de la estructura de la celulosa.

Fuente: <http://iesparearques.net/tecno/Bloques%20de%20Contenidos%20agost%202011/Materiales%20de%20procesos%20de%20conformacio/Fusta/web%20fusta/La%20Celulosa.h>

Los enlaces internos como los enlaces entre las unidades de glucosa son covalentes. Este tipo de enlace proporciona rigidez y una alta resistencia a tensión en la molécula de celulosa. Sin embargo, las cadenas de celulosa se enlazan lateralmente con otras cadenas por medio de enlaces de hidrógeno y de Vander Waals, La hemicelulosa es una molécula polimérica natural. A diferencia de la celulosa que está formada por glucosa, la hemicelulosa está constituida por polisacáridos principalmente xilosa. La cantidad de xilosa varía de acuerdo con el tipo de planta, además, tiene un carácter ácido lo que puede tener un efecto negativo en la reacción de hidratación del cemento, ya que podría neutralizar la alcalinidad de la mezcla al reaccionar con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$. La lignina tiene una

estructura compleja en tres dimensiones, según Young (1998), nos dice que está formada por unidades de fenilpropano ligadas de diferentes maneras. La lignina y la hemicelulosa las cuales son amorfas, mantienen juntas las unidades de glucosa las cuales tienen regiones cristalinas.

Según Gram(1988), nos dice como la manera en la cual interactúan estos tres principales componentes resulta importante, la descomposición en un medio alcalino de la celulosa, que es la principal unidad estructural de la fibra, se puede presentar por la disolución de la cadena principal molecular originando un desfibramiento. En las fibras de lechuguilla se encontró que los porcentajes de estos componentes básicos fueron los siguientes: celulosa 59.34%, hemicelulosa 17.37% y lignina 21.11%, el restante pueden ser un bajo porcentaje de sapogeninas. Estos porcentajes resultan similares a los reportados para fibras de la familia del agave, por ejemplo, Gram reportó que las fibras de sisal estaban compuestas por 62% de celulosa, 15% de hemicelulosa y 20% de lignina. El alto porcentaje de celulosa presente en ambas plantas sugiere que sus propiedades físicas y mecánicas pueden ser similares, sin embargo, también es posible que el medio alcalino que deteriora a las fibras de sisal, sea un importante factor de deterioro en las fibras de lechuguilla.

El pH es un buen indicador del estado general del producto ya que tiene influencia en múltiples procesos de alteración y estabilidad de las fibras, así como en la proliferación de microorganismos. Se puede determinar colorimétricamente mediante los indicadores adecuados, pero, para su mayor exactitud, se ha de recurrir a métodos eléctricos mediante el uso de pH-metros.

Además del grado de acidez expresado por el pH, el contenido total de ácido en la fibra, se suele concretar valorando con hidróxido sódico y un indicador. Los resultados se dan en términos del ácido que predomina.

En el anexo N° 03 se detallan los análisis del laboratorio realizado a la fibra.

Tabla 14.

Resultados obtenidos de la fibra: Ph y Grado de acidez

ENSAYOS	RESULTADO	RESULTADO	PROMEDIO
FISICOQUIMICOS	1	2	
PH	5.87	5.84	5.86
Acidez	3.33	3.35	3.34

Fuente: Laboratorio de Análisis de Alimentos – Facultad de Industria Alimentarias – Universidad Nacional de Ancash “Santiago Antúnez de Mayolo”.

Ensayo de fluorescencia de rayos X de la fibra Agave Lechuguilla:

Se ha realizado una muestra de la fibra de agave lechuguilla a la espectrometría de fluorescencia de rayos X, realizados en el IPEN (Instituto Peruano de Energía Nuclear), para determinar los componentes de la fibra.

La técnica de Fluorescencia de Rayos X se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X. La radiación incide sobre la muestra excitando los átomos presentes en la misma, que emiten a su vez radiación característica denominada fluorescencia de rayos X. Esta radiación, convenientemente colimada, incide sobre un cristal analizador (con espaciado interatómico d) que la difracta en un ángulo (θ) dependiente de su longitud de onda (λ) por la ley de Bragg ($\sin \theta = n\lambda/2d$). Un detector que puede moverse sobre un determinado rango de dicho ángulo mide el valor de la intensidad de radiación en un ángulo determinado y por tanto para una longitud de onda específica, que es función lineal de la concentración del elemento en la muestra que produce tal radiación de fluorescencia.

Los resultados de la espectrometría de fluorescencia de rayos X de la Fibra de Agave Lechuguilla se detallan en la presente tabla.

Tabla 15.

Tabla de espectrometría de fluorescencia de rayos X aplicada a la fibra de agave lechuguilla

MUESTRA FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA			
Composición Química		Unidad	Concentración
Calcio	(Ca)	%	7.9 ± 1.1
Titanio	(Ti)	ppm	1324 ± 367
Magnesio	(Mn)	ppm	223 ± 33
Hierro	(Fe)	ppm	741 ± 83
Niquel	(Ni)	ppm	109 ± 16
Cobre	(Cu)	ppm	494 ± 46
Zinc	(Zn)	ppm	117 ± 14
Estroncio	(Sr)	ppm	1068 ± 70
Plomo	(Pb)	ppm	58 ± 9
T irradiación	60000 s		

Fuente: Laboratorio de IPEN (Instituto Peruano de Energía Nuclear).

De la tabla se puede apreciar que la fibra en su composición química está compuesta en su mayoría por el Titanio (Ti) en 1324 ± 367 partículas por millón (ppm); y el componente químico en menor proporción es la del plomo (pb) en 58 ± 9 ppm.

También se puede apreciar que el Calcio (Ca), tiene una menor concentración en porcentaje, por lo cual estos elementos que conforman la fibra, habría que tratarlas para que no afecten sus componentes químicos con el concreto, en especial con el cemento en el instante que se mezclen los compuestos.

Porcentaje de absorción del agua

Para determinar la absorción de agua de las fibras de agave lechuguilla con y sin tratamiento, las fibras fueron secadas en un horno a 110°C durante 24 horas, posteriormente fueron cortadas a una longitud aproximada de 30 mm., con ellas se formó 3 muestras de 1 gramo cada una por ensayo.



Figura 21. *Secado de la fibra Agave Lechuguilla al horno 24h.*

Fuente: El Autor.

Fibras sin Tratamiento:

Para las fibras sin tratamiento se pesaron las 3 muestras en una balanza digital con precisión de 0,1 gramos obteniendo el peso seco (Ws). Posteriormente las mismas se saturaron con agua destilada 24 horas, buscando obtener la condición saturada superficie seca (WSss) estas se frotan con papel absorbente para retirar el agua superficial visible entre ellas, hecho esto se procede a pesarlas.



Figura 22. *Muestras de fibras sin tratamiento a 24h.*

Fuente: El Autor.

El porcentaje de absorción se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{WS_{ss} - W_s * 100}{W_s}$$

Donde:

W_s = Peso seco

WS_{ss} = Peso Saturada superficie seca

Tabla 16.

Capacidad de absorción de la fibra agave lechuguilla sin tratamiento.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2					
AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"					
ORIGEN:	CC.PP. TOCLLA - BARRIO CONDORPAMPA				
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.	FECHA :			3/03/2017
CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCION DEL AGAVE LECHUGUILLA SIN TRATAMIENTO					
Muestra N°	Tiempo de saturación (h)	Ws (gr)	W Sss (gr)	W del agua absorbida (gr)	% Absorción
1	24	0.6	1.2	0.6	100
2	24	0.7	1.3	0.6	86
3	24	0.7	1.4	0.7	100
ABSORCION PROMEDIO					95

Fuente: El Autor.

Fibras con Tratamiento:

En el caso de las fibras con tratamiento las 3 muestras fueron sumergidas en parafina, se secaron al ambiente durante 24 horas, y se pesaron en una balanza digital con precisión de 0,1 gramos obteniendo el peso seco de la fibra tratada (W_{st}).

Posteriormente las mismas se saturaron en agua destilada durante 24 horas, buscando obtener la condición saturada superficie seca (WS_{sst}) estas se frotran con papel absorbente para retirar el agua superficial visible entre ellas, hecho esto se procede a pesarlas.

El porcentaje de absorción se obtiene con la ecuación:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{WS_{st} - W_{st} * 100}{W_s}$$

Donde:

W_{st} = Peso seco de la fibra tratada.

WS_{st} = Peso saturado de la superficie seca de la fibra tratada.

Para determinar el porcentaje de absorción de la fibra tratada relativo al peso seco, se resta de WS_{st} el W_{st} (esta diferencia es la cantidad de agua que absorbe la fibra) y se divide para el peso seco de la fibra sin tratamiento (W_s).



Figura 23. Muestras de fibras con tratamiento a 24h.

Fuente: El Autor.

Tabla 17.

Capacidad de absorción de la fibra con tratamiento.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2

AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"

ORIGEN:

CC.PP. TOCLLA - BARRIO CONDORPAMPA

ENSAYADO POR:

Christian Alegre M.

FECHA :

3/03/2017

CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCION DEL AGAVE LECHUGUILLA CON TRATAMIENTO

Muestra N°	Tiempo de saturación (h)	Ws (gr)	Wst (gr)	W Ssst (gr)	W del agua absorbida (gr)	% Absorción
1	24	1.0	1.6	2.2	0.6	60
2	24	1.0	1.6	2.4	0.8	80
3	24	1.0	1.7	2.3	0.6	60
ABSORCION PROMEDIO						67

Fuente: El Autor.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las propiedades de la fibra de agave lechuguilla.

Tabla 18.

Porcentaje de absorción de la fibra tratada y sin tratar

FIBRA DE AGAVE DE LECHUGUILLA		
Longitud de fibra	30	mm
Absorción del agua 24 h. (No tratada)	95	%
Absorción de la fibra con parafina (Tratada)	67	%
Diámetro	0.33	mm

Fuente: El Autor.

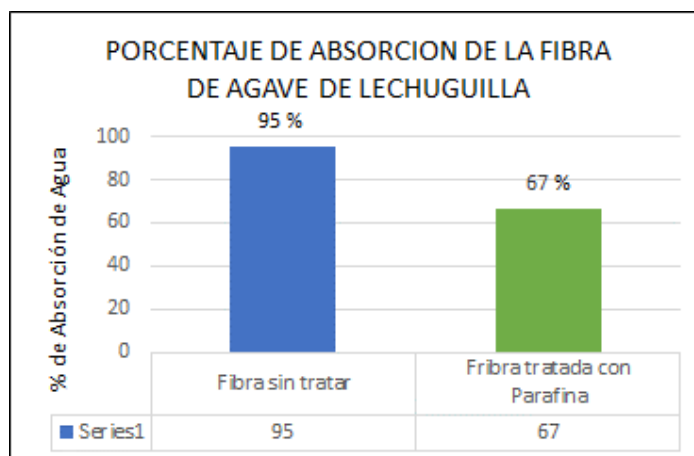


Figura 24. *Porcentaje de absorción de la fibra tratada y sin tratar.*

Fuente: El Autor.

Diámetro y longitud de la fibra

Las fibras naturales poseen una amplia diversidad en su diámetro y longitud, en comparación con las fibras industriales (vidrio, acero y plásticas), que poseen dimensiones uniformes. La resistencia de la fibra, está relacionada con su diámetro, por lo que se han tomado muestras de fibras que fueran representativas durante la etapa de la investigación.

Como se aprecia en las Figuras 25 y 26, se han empleado 50 especímenes medidos, 42 de ellos tienen un diámetro máximo entre 0.18 a 0.29 mm y un diámetro mínimo de 0.10 a 0.21 mm. El promedio de todos los especímenes es

de 0.24 mm y de 0.16 mm para los valores máximos y mínimos respectivamente, la longitud promedio es de 420 mm.

La fibra de agave lechuguilla con respecto al diámetro y a la longitud resulta ser de menor tamaño que otras fibras de la familia del agave. Catro J. Naamen (1981) en su libro “Cement Mortar Reinforced With Natural Fibers”, publicaron los siguientes valores promedios para fibras del Maguey; diámetro máximo 0.46 mm y diámetro mínimo 0.20 mm. Note que las fibras de lechuguilla son comparables en diámetro con las fibras de polipropileno y algunas de acero.

Según Aziz, M.A. Paramaswivam (1984), donde nos dice que un diámetro pequeño permite que la mezcla tenga trabajabilidad, así también la falta de uniformidad en los diámetros puede provocar posibles zonas débiles en el compuesto, debido a las fibras que resisten menos esfuerzos.

Para tratar de reducir al mínimo la diversidad de los diámetros, se dio por conveniente eliminar ambos extremos de la fibra del agave de lechuguilla, donde se presenta la mayor variación en el diámetro, trabajando sólo de esta manera con la zona central de la fibra, esto mejoró considerablemente con la uniformidad de los diámetros.

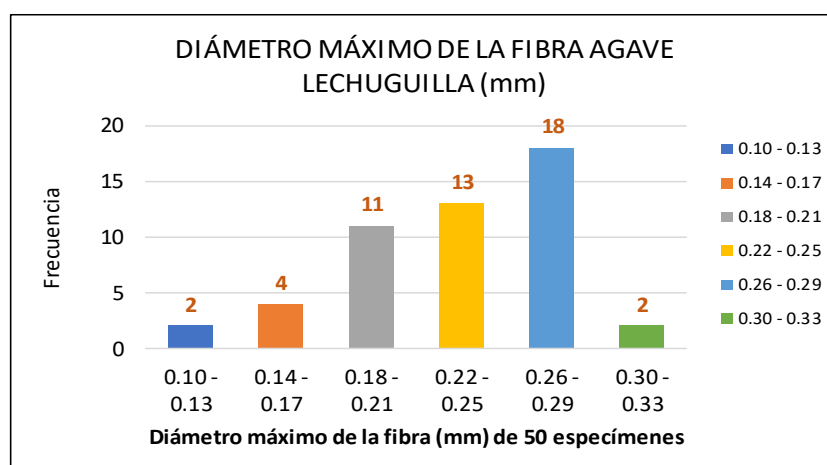


Figura 25. Variación del diámetro máximo en fibras. Los diámetros máximos presentan una distribución normal

Fuente: El Autor.

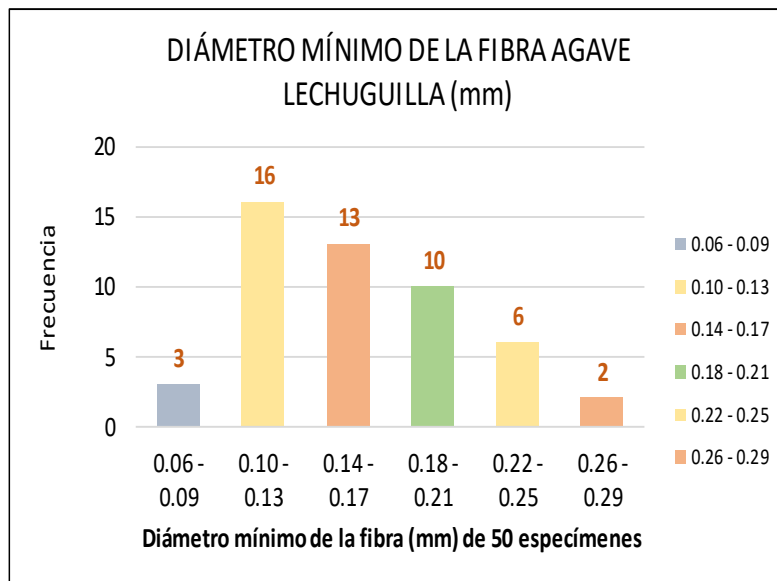


Figura 26. Variación del diámetro mínimo en fibras. Los diámetros mínimos están sesgados a los valores menores.

Fuente: El Autor.

Esfuerzo último a tensión

Esta fue evaluada como la relación entre la carga de falla y el diámetro promedio entre los puntos de sujeción de la fibra montada en el dispositivo de prueba como se muestra en la Figura 27.

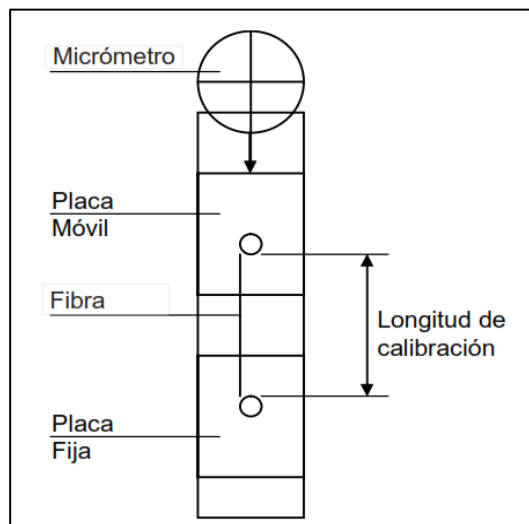


Figura 27. Dispositivo para el ensayo a tensión.

Fuente: El Autor.

La carga fue sometida en forma gradual mediante pesos conocidos, midiendo la elongación de la fibra con un micrómetro de carátula de 0.01 mm de precisión. Este instrumento registra el deslizamiento de uno de los puntos de sujeción de la fibra. Al momento en que la fibra se produzca la ruptura se tomaba la lectura en el micrómetro obteniendo la elongación última, la longitud de calibración fue de 100 mm. En la Figura 28, se puede apreciar el comportamiento típico de la fibra durante el ensayo.

Tabla 19.

Deformación máxima de la fibra aplicándole la carga.

Deformación (mm)	Carga (Lib)
28	0.5
425	1.0
740	1.5
1084	2.0
1160	2.5

Fuente: Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de ciencias forestales, Laboratorio de ensayos tecnológicos – Tecnología de la Madera.



Figura 28. *Carga vs Deformación de la fibra del agave lechuguilla.*

Fuente: Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de ciencias forestales, Laboratorio de ensayos tecnológicos – Tecnología de la Madera.

Debido a la alta variabilidad referente al diámetro de la fibra, se realizaron cinco ensayos a tensión, tratando de obtener un adecuado índice de confiabilidad en los resultados obtenidos. En la mayoría de los ensayos realizados a tensión el comportamiento de la fibra tendió a ser elastoplástico hasta la falla. Esto puede deberse a que algunas microceldas fluyen individualmente o se separen entre si, pero las restantes aún pueden mantener la carga; sin embargo, la deformación es permanente.

La tendencia es que a mayor diámetro de la fibra soporta más carga, sin embargo, las fibras con diámetros mayores tienen mayor área específica, por lo que la carga de falla se distribuye en una mayor área transversal de la fibra resultando que el esfuerzo último disminuye al aumentar el diámetro.

Porcentaje de elongación a la ruptura

El porcentaje de elongación define la capacidad que tiene la fibra para sufrir deformaciones sin fallar, es decir, su ductilidad. La fibra del agave lechuguilla resultó tener el 12% de elongación a la ruptura.

Esta elongación permite tener importantes deflexiones en el concreto, mientras no se produzca fallas por adherencia, la fibra tiene la capacidad transferir los esfuerzos a la matriz de concreto agrietado proporcionándole capacidad de soportar más carga sin colapsarse, incrementando de esta manera su tenacidad.

En la tabla siguiente se muestra la elongación de la fibra realizado en cinco muestras de aproximadamente 10 cm cada una; las que fueron sometidas a la máquina de ensayo a tensión para determinar la elongación máxima a la ruptura de la fibra.

Tabla 20.

Elongación máxima de la fibra

Muestra N°	Elongación Máxima de la fibra (%)		
	Long. Inic. (cm)	Long. Final (cm)	Elongación máxima (%)
1	10.0	11.4	14
2	10.0	11.0	10
3	10.0	11.2	12
4	10.0	11.6	16
5	9.6	10.5	9

Elongación a la Ruptura
% 12 %

Fuente: Lab. Tecnología del papel y madera – Universidad Agraria la Molina.

En la gráfica se pueda apreciar la longitud inicial y final de la fibra.

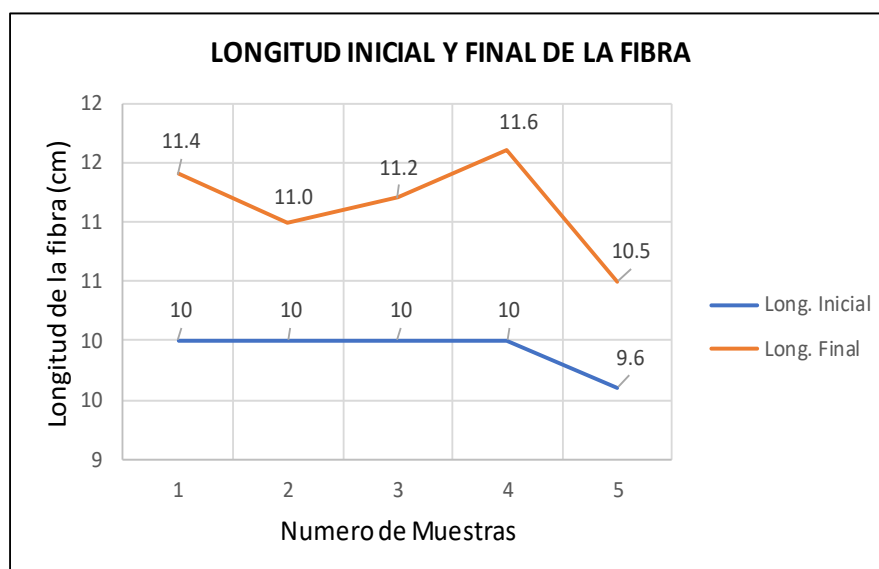


Figura 29. Longitud inicial y final de la fibra.

Fuente: Lab. Tecnología del papel y madera – Universidad Agraria la Molina.



Figura 30. *Muestra de la fibra sometida al dispositivo a tensión de la fibra.*

Fuente: Lab. Tecnología del papel y madera – Universidad Nacional Agraria la Molina.

Tratamiento de la fibra con parafina

La absorción de agua en las fibras naturales causa variaciones en sus dimensiones, constituyendo una desventaja pues al colocar la fibra en el concreto fresco esta se satura, y en el momento que el concreto se endurece, la fibra saturada se seca (contracción) afectando la adherencia entre los dos componentes (fibra – concreto).

En las investigaciones realizadas por Juárez (2002) “Concreto base cemento portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla) como materiales para construcción”, se sostiene que cualquier material de refuerzo puede ser afectado por el álcali del cemento porque se libera gran cantidad de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , siendo las fibras naturales más vulnerables a la alcalinidad.

Por esto surge la necesidad de darle tratamiento a la fibra, con la finalidad de disminuir la absorción de agua y mejorar la durabilidad de esta en un

ambiente alcalino, el procedimiento con el que se logra este propósito es el siguiente:

Las fibras fueron secadas al sol por espacio de 7 días en un ambiente libre y sin ninguna contaminación, luego fueron llevadas al horno a 100°C durante 24 horas, luego se cortaron en una longitud de 30 mm.

Posteriormente el tratamiento fue realizado por inmersión de la fibra seca en la parafina a 80°C durante 5 min. Posteriormente, la fibra se sumerge en la misma sustancia, pero a 24°C durante 5 min. Este ciclo se repitió 3 veces buscando que, con la dilatación y contracción de la fibra debido al cambio de temperatura, la sustancia pudiera penetrar lo más posible y expulsara el aire atrapado. La fibra se dejó enfriar al ambiente durante 24 h antes de ser usada como refuerzo.

El tratamiento con la parafina servirá para reducir el efecto de la absorción del agua al momento que entra en contacto con el concreto antes y después del curado.



Figura 31. *Tratamiento del agave lechuguilla con la parafina.*

Fuente: El Autor.

Agregados de la Cantera Coishco-Rubén

Para el desarrollo de esta investigación se dosificará el concreto con fibra de agave lechuguilla y agregados pétreos de la cantera Coishco-Rubén.

La Cantera COISHCO-RUBÉN se encuentra ubicada en la ciudad de Chimbote, entre las coordenadas UTM: E-762 281 y N-8 999 799 a una cota de 56 m.s.n.m. El material extraído por explotación es mediante cielo abierto y el proceso de obtención de agregados de diferente tamaño se lo consigue mediante trituración del material pétreo, posteriormente son clasificados por zarandeo mecánico.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la cantera Coishco Rubén, de donde obtuvimos los agregados finos y gruesos para nuestra prueba experimental.



Figura 32. Zona de ubicación de la cantera Coishco-Rubén.

Fuente: El Autor.

Los diferentes ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales Geotecnia – Concreto - Asfalto de la Universidad San Pedro de Chimbote-Ancash.



Figura 33. *Recolección de los agregados de la cantera Coishco-Rubén.*

Fuente: El Autor

Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos

La finalidad de los ensayos es determinar que ciertas propiedades de los materiales a emplearse y compararlas con lo establecido en las normas ACI, ASTM C-127.

Tabla 21.

Tabla de ensayos realizados en los agregados y el cemento.

ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS			
ENSAYOS	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	CEMENTO
Análisis granulométrico	X	X	
Densidad aparente suelta y compactada	X	X	
Densidad Real	X	X	X
Capacidad de absorción	X	X	
Contenido de humedad	X	X	

Fuente: El Autor.

Una vez concluidos los ensayos y verificando que el material es apto para el concreto, se obtienen las proporciones en que se mezclan los componentes del concreto, a través del método de la viga simple cargada en el tercio de la luz.

Análisis Granulométrico

El ensayo granulométrico consiste en determinar la distribución de los tamaños de partículas de los agregados, mediante el cribado y respetando los límites establecidos en la norma ASTM C-136-06.

Tabla 22.

Rangos del agregado fino de la cantera

RANGOS DEL AGREGADO FINO	
TAMIZ ASTM	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	100
N° 4	95 a 100
N° 8	80 a 100
N° 16	50 a 85
N° 30	25 a 60
N° 50	10 a 30
N° 100	2 a 15

Fuente: ASTM C 136-06 "Standard Specification for Concrete Aggregates" (1999).



Figura 34. Análisis granulométrico del agregado fino (peso y tamizado)

Fuente: El Autor.

Tabla 23.

Rangos del agregado grueso

RANGOS DEL AGREGADO GRUESO	
TAMIZ ASTM	PORCENTAJE QUE PASA
2"	100
1 ½"	95 a 100
1"	-
¾"	35 a 70
½"	-
⅜"	10 a 30
Nº 4	0 a 5

Fuente: ASTM C 136-06 "Standard Specification for Concrete Aggregates" (1999).



Figura 35. *Granulometría del agregado grueso (peso y tamizado).*

Fuente: El Autor.

Densidad aparente suelta y compactada: Se define como la relación entre la masa del agregado y su volumen, en el caso de la suelta la masa contiene mayor número de vacíos por el procedimiento del ensayo, mientras que para la compactada estos vacíos disminuyen.

Los ensayos con los que se determinó estas densidades respetan la norma ASTM C-127.

Densidad real y capacidad de absorción: La densidad real es el cociente entre el peso y el volumen de una masa determinada, la misma que luego se emplea para el cálculo del volumen ocupado por el agregado dentro de una mezcla de concreto, cabe recalcar que la densidad real depende de las características del material.

La determinación de la densidad real del agregado fino grueso debe cumplir la norma ASTM C -136-06, AASHTO T 27. (ASTM C 117, para agregados finos y para agregados gruesos se sigue la norma ASTM C637).

Al momento de efectuar las densidades reales se obtiene además la capacidad de absorción, que es la cantidad de agua que puede absorber el agregado durante su inmersión en agua por 24 horas hasta que alcance la condición saturada superficie seca (Sss).

Contenido de humedad: El contenido de humedad es la cantidad de agua que contiene el agregado en su estado natural, depende de la porosidad de las partículas y del ambiente donde se encuentra dispuesto el material. La determinación de esta propiedad está basada en la norma ASTM C-127.

En las siguientes tablas se detallan los análisis granulométricos de los agregados finos y gruesos al igual que la gráfica de la curva granulométrica de los agregados de la cantera Coshco-Rubén en Chimbote.

Para el agregado grueso se ha obtenido el peso de la muestra de 1619.3 gr, donde el tamaño nominal máximo para el agregado grueso fue de 1”; para el agregado fino se ha obtenido el peso de la muestra de 1000 gr y su módulo de fineza para este agregado fue de 2.60.

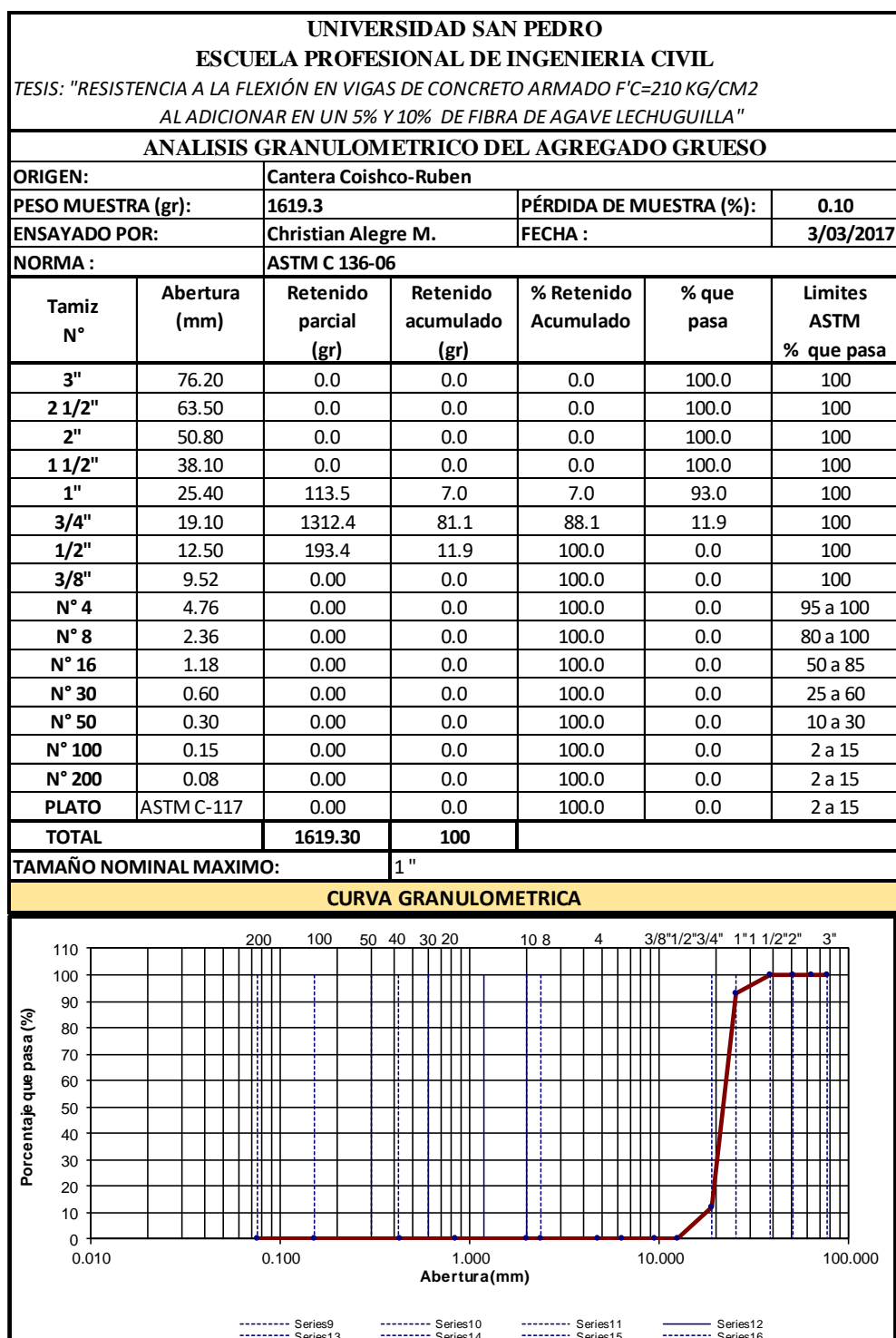


Figura 36. Análisis granulométrico del agregado grueso.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales – Univ. San Pedro.

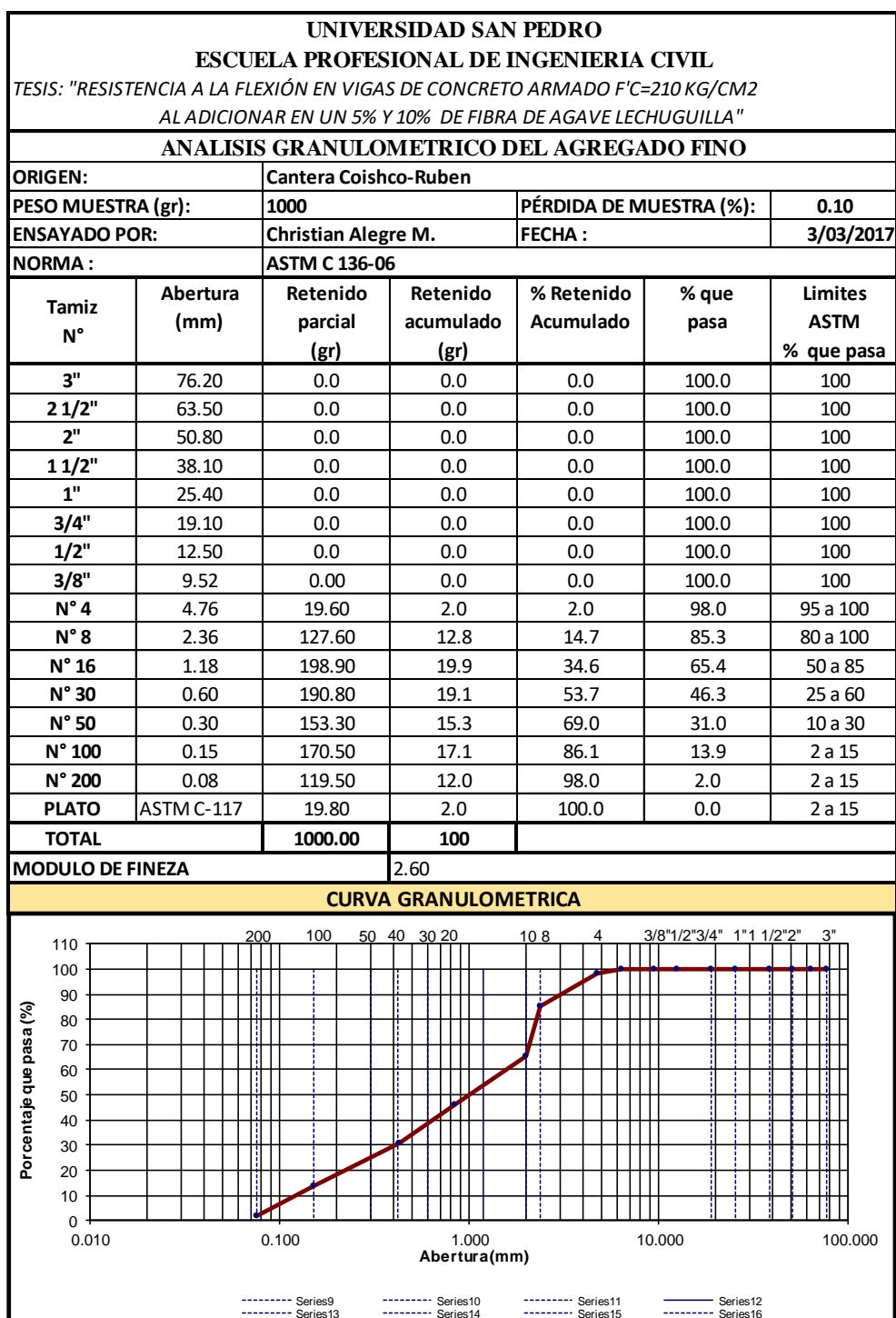


Figura 37. Análisis granulométrico del agregado fino.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales – Univ. San Pedro.

En las siguientes tablas se detallan las densidades aparentes sueltas del agregado grueso donde el peso unitario promedio fue de 1457 kg/m^3 y el

corregido por humedad fue de 1446 kg/m³, para el agregado fino se ha obtenido el peso unitario promedio de 1706 kg/m³ y para el corregido por humedad fue de 1693 kg/m³.

Tabla 24.

Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2 AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"					
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Cantera Coishco-Rubén				
PESO RECIPIENTE (Kg):	A. Grueso	5120		A. Fino	3326
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.			FECHA :	3/03/2017
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3)	A. Grueso	9354		A. Fino	2788
NORMA :	ASTM C 117-04				
Agregado	Agregado + Recipiente (Kg)	Agregado (Kg)	Peso Unitario (Kg/m3)	Peso Unitario Promedio (Kg/m3)	Corregido por humedad (Kg/m3)
GRUESO	18750.0	13630.0	1457.0	1457.0	1446.0
	18800.0	13680.0	1462.0		
	18700.0	13580.0	1452.0		
FINO	8100.0	4774.0	1712.0	1706.0	1693.0
	8150.0	4824.0	1730.0		
	8000.0	4674.0	1676.0		

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales – Univ. San Pedro.

Tabla 25.

Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2 AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"					
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:	Cantera Coishco-Ruben				
PESO RECIPIENTE (Kg):	A. Grueso	5120		A. Fino	3326
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.			FECHA :	3/03/2017
VOLUMEN RECIPIENTE (dm3)	A. Grueso	9354		A. Fino	2788
NORMA :	ASTM C 117-04				
Agregado	Agregado + Recipiente (Kg)	Agregado (Kg)	Peso Unitario (Kg/m3)	Peso Unitario Promedio (Kg/m3)	Corregido por humedad
GRUESO	18900.0	13780.0	1473.0	1475.0	1462.0
	18950.0	13830.0	1479.0		
	18900.0	13780.0	1473.0		
FINO	8400.0	5074.0	1820.0	1832.0	1817.0
	8450.0	5124.0	1838.0		
	8450.0	5124.0	1838.0		

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales – Univ. San Pedro.

Para la tabla 26, se han obtenido las densidades aparentes compactadas del agregado grueso donde el peso unitario promedio fue de 1475 kg/m³ y el corregido por humedad fue de 1462 kg/m³, para el agregado fino se ha obtenido el peso unitario promedio de 1832 kg/m³ y para el corregido por humedad fue de 1817 kg/m³.

En la siguiente tabla del agregado grueso se calculó su densidad real del agregado que fue de 2.9 gr/cm³ y la capacidad de absorción promedio fue de 0.80 %.

Tabla 26.

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

UNIVERSIDAD SAN PEDRO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2				
AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO				
ORIGEN:	Cantera Coishco-Rubén			
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.			FECHA : 3/03/2017
NORMA :	ASTM C - 127			
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	DESIGNACION	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1229.0	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1119.0	
M3	Masa de la canastila + muestra SSS en el aire	gr	2047.5	
M4	Masa de la canastila + muestra SSS en el agua	gr	1651.7	
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1.0	
M5 = M3 - M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	818.5	
M6 = M4 - M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	532.7	
PMS	Masa de material seco en estufa	gr	812.0	
VV = (M5 - M6) / DA	Volumen de masa + volumen de vacios (M5 - M6)	cm3	285.8	
VM = (VV - (M5 - PMS)	Volumen de masa	cm3	279.3	
DR = M5 / VV	Densidad real del ripio	gr/cm3	2.9	
CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCION				
DATOS	DESIGNACION	UNIDAD	VALOR	
BS = PMS / VV	Peso específico Bulk (Base Seca)	gr	2.841	2.841
BSS = M5 / VV	Peso específico Bulk (Base Saturada)	gr	2.864	2.864
PA = PMS / VM	Peso Aparente (Base Seca)	gr	2.907	2.907
CA = (M5 - PMS)/PMS)*100	Capacidad de Absorción (%)	%	0.80	0.80
P = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de Absorción Promedio (%)	%	0.80	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales – Univ. San Pedro.

Para la tabla siguiente del agregado fino se calculó su densidad real del agregado que fue de 2.7 gr/cm³ y la capacidad de absorción promedio fue de 0.44 %.

Tabla 27.

Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2				
AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCION DEL AGREGADO FINO				
ORIGEN:	Cantera Coishco-Rubén		FECHA :	3/03/2017
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.			
NORMA :	ASTM C - 127			
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS		DESIGNACION	UNIDAD	VALOR
M1		Masa del Picnómetro	gr	161.3
M2		Masa del Picnómetro + muestras SSS	gr	300.0
M3		Masa del Picnómetro + muestra SSS + agua	gr	851.8
M4 = M3 - M2		Masa agua añadida	gr	551.8
M5		Masa picnómetro + 500 cc de agua	gr	661.6
MA = M5 - M1		Masa de 500 cc de agua	gr	500.3
DA = MA / 500 cm3		Densidad del agua	gr/cm3	1.0
M7 = MA- M4		Masa del agua desalojada por la muestra	gr	51.5
VC = M2 + M5		Volumen de masa + volumen de vacios	cm3	961.6
VV = VC - M3		Volumen de masa -volumen de vacios		109.8
M6		Peso del material seco en estufa	gr	298.7
VM = (VV - (M2 - M6))		Volumen de masa	cm3	108.5
Msss = M2 - M1		Masa del agregado	gr	138.7
Vsss = M7 / DA		Volumen del agua desalojado	cm3	51.5
DRA = Msss / Vsss		Densidad real de la Arena	gr/cm3	2.7
CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCION				
DATOS		DESIGNACION	UNIDAD	VALOR
BS = M6 / VV		Peso específico Bulk (Base Seca)	gr	2.720 2.720
BSS = M2 / VV		Peso específico Bulk (Base Saturada)	gr	2.732 2.732
PA = M6 / VV		Peso Aparente (Base Seca)	gr	2.720 2.720
CA = (M2 - M6)/M6)*100		Capacidad de Absorción (%)	%	0.44 0.44
P = (CA1 + CA2) / 2		Capacidad de Absorción Promedio (%)	%	0.44

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales – Univ. San Pedro.

Tabla 28.

Contenido de humedad del agregado grueso y fino.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO					
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL					
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2					
AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"					
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS					
ORIGEN:	Cantera Coishco-Rubén				
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.	FECHA :		3/03/2017	
NORMA :	ASTM D - 2216				
CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS					
DESCRIPCION	NOMEN.	GRUESO		FINO	
Recipiente N°					
Tara + Suelo Húmedo	gr	1442.60	1537.30	637.40	876.90
Tara + Suelo Seco	gr	1432.50	1525.40	633.50	871.60
Peso del Agua	gr	10.10	11.90	3.90	5.30
Peso de la Tara	gr	166.20	211.10	165.40	201.90
Peso del Suelo Seco	gr	1266.30	1314.30	468.10	669.70
Contenido de Humedad	%	0.80	0.90	0.83	0.79
Promedio Cont. Humedad	%	0.85		0.81	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales – Univ. San Pedro.

Diseño de la armadura de la viga

La armadura de la viga se construyó cada una con cuatro varillas de acero de Ø 3/8" ubicadas a los extremos, con una longitud de 45 cm que es el ancho de la viga y 14 cm para el doblado (cada lado 7 cm), luego se colocaron seis estribos de Ø 1/4", distribuidas a lo largo de la siguiente manera: dos a cada 5 cm y el resto a cada 8 cm, siendo en total 6 estribos a lo largo de la armadura de 45 cm.

En la siguiente foto se observa el amarre de la distribución de los estribos de la viga, las cuales son amarradas en los cuatro extremos de las varillas de acero de 3/8".



Figura 38. Diseño de la armadura de la viga.

Fuente: El Autor.

En total se construyeron 27 armaduras de las vigas, de las cuales, tres para las vigas patrón, tres para las vigas con adición al 5% de la fibra y tres para las vigas con adición al 10% de la fibra.

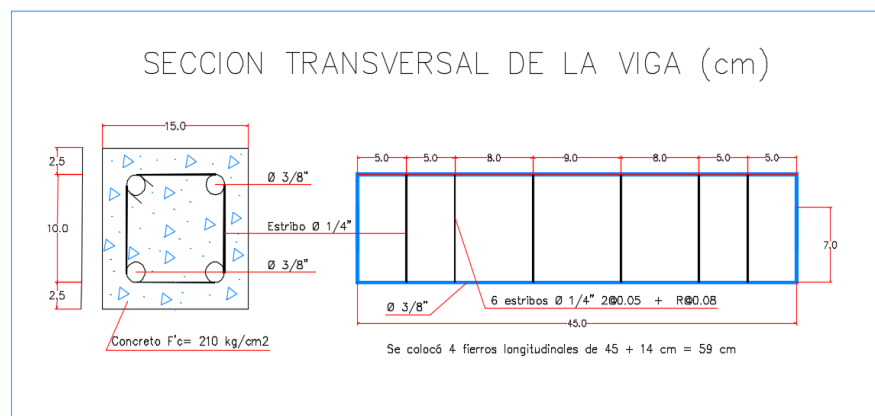


Figura 39. Diseño de la armadura de la viga.

Fuente: El Autor

Dosificación y armado de la viga de concreto

Para esta investigación se usó el método de la viga simple cargada en el

tercio de la luz, con los datos obtenidos en los ensayos del laboratorio, para los diseños de las vigas patrón, y con la adición de la fibra de agave lechuguilla al 5% y 10%. La dosificación se hizo considerando tres vigas en cada caso y para las edades de los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla 29.

Vigas consideradas en la dosificación

VIGAS CONSIDERADAS EN LA DOSIFICACION					
CASO			EDAD (7 días)	EDAD (14 días)	EDAD (28 días)
Concreto armado sin fibra	(Viga patrón)		3 vigas	3 vigas	3 vigas
Concreto con fibra al 5%			3 vigas	3 vigas	3 vigas
Concreto con fibra al 10%			3 vigas	3 vigas	3 vigas

Fuente: El Autor.

Elaboración de vigas de concreto armado

Determinadas las cantidades de material (ver las tablas N° 33, 34 y 35) necesarias para elaborar tres vigas de concreto se procedió de la siguiente manera:

Se pesó los materiales empleados en la mezcla de concreto como son: agua, arena, piedra chancada, cemento y la fibra de agave lechuguilla previamente tratada con la parafina.

La mezcla se realizó en una concretera de un saco, antes se cercioró que la misma se encuentre limpia y sin restos de material. Con la concretera encendida se colocó en su interior un poco de agua, la totalidad de ripio y cemento; posteriormente la arena y el resto de agua, y se mezcló durante cinco minutos.

Para las vigas con fibra dispersa, luego de los cinco minutos de mezcla, con la concretera aún encendida se adicionó el porcentaje correspondiente de la fibra de agave lechuguilla tratada en segmentos de 3 centímetros de longitud y se

mezcló dos minutos más.

La mezcla se vertió en carretillas, luego se transportó hacia los moldes de madera donde se elaboró los especímenes, primero se puso una capa de 5 cm de la mezcla se espacó por todo el molde luego se procedió a dar 15 golpes sobre la mezcla. Luego se procedió al colocado de la estructura metálica de dimensiones de 14 x 14 por luz de 45 cm, luego se procedió a cubrir con el concreto todo el molde, donde también se procedió a realizar a dar 25 golpes con la vara, para que de esta forma el concreto se amolde con la estructura, hasta que la superficie vista de la capa se torne lisa.

Después se golpeó exteriormente al molde 12 veces con un martillo de goma con la finalidad de cerrar los agujeros dejados por el golpe de la vara y eliminar las burbujas de aire atrapado, adicionalmente la superficie de la segunda capa se enrazó con una varilla de acero de sección circular.

Luego de 24 horas de conformar las vigas estas se desencofraron y pasaron a ser curadas de acuerdo a la Tabla 39.



Figura 40. *Elaboración de las vigas de concreto reforzadas 5% y 10% con la fibra de agave lechuguilla.*

Fuente: El Autor.

Diseño de la viga patrón

El diseño de la mezcla de la viga patrón, se hará empleando el método del ACI, la resistencia a la compresión de diseño promedio 210 kg/cm^2 , con ensayos a los 7, 14 y 28 días.



Figura 41. *Elaboración de las vigas patrón (3).*

Fuente: El Autor

Tabla 30.

Diseño de la viga Patrón (Sin fibra 0%).

UNIVERSIDAD SAN PEDRO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2			
AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"			
ORIGEN:	Cantera Coishco-Rubén		
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.	3/03/2017	
DATOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO - VIGA PATRÓN			
MATERIALES			
CEMENTO			
	Tipo I "Pacasmayo"		
	Peso específico	3.12	
AGUA			
	Potable de la zona		
AGREGADO FINO			
	Peso específico de masa	2.72	
	Peso unitario suelto	1693.00	kg/m3
	Peso unitario compactado	1817.00	kg/m3
	Contenido de humedad	0.81	%
	Absorción	0.44	%
	Módulo de fineza	2.60	
AGREGADO GRUESO			
	Piedra, perfil angular		
	Tamaño máximo nominal	1"	
	Peso específico de masa	2.841	
	Peso unitario suelto	1445	kg/m3
	Peso unitario compactado	1462	kg/m3
	Contenido de humedad	0.85	%
	Absorción	0.80	%

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales Univ. San Pedro

- Selección del asentamiento: De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4".
- Volumen unitario de agua: Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4", sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño nominal de 1", el volumen unitario del agua es de 193 lt/m3.

c) Relación agua/cemento (A/C): En base a la resistencia requerida a la compresión se toma el valor correspondiente de la relación agua/cemento de 0.684.

d) Factor de Cemento: Este factor es de 6.64 bolsas/m³

$$FC = 193 / 0.684$$

$$FC = 282.16 \text{ kg/m}^3$$

$$FC = 6.64 \text{ bolsas/m}^3$$

e) Diseño corregido

Tabla 31.

Valores de diseños corregidos.

<div>UNIVERSIDAD SAN PEDRO</div> <div>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</div> <div>TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2</div> <div>AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"</div>			
ORIGEN:	Cantera Coishco-Rubén		
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.	3/03/2017	
DISEÑO DE LA VIGA PATRON (SIN FIBRA 0%)			
VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS			
Cemento	6.639	kg/m3	
Agua efectiva	188.932	kg/m3	
Agregado Fino	19.659	kg/m3	
Agregado Grueso	24.663	kg/m3	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad San Pedro

f) Proporciones en Peso: La proporción en peso se emplearán los datos de la tabla anterior:

$$\underline{282.16} \quad : \quad \underline{950.001} \quad : \quad \underline{1017.77}$$

$$282.16 \quad 282.16 \quad 282.16$$

$$1 \quad : \quad 3.37 \quad : \quad 3.61 \quad : \quad 28.46 \text{ lts/bolsa}$$

g) Proporciones en Volumen

$$1 \quad : \quad 2.96 \quad : \quad 3.71 \quad : \quad 28.46 \text{ lts/bolsa}$$

Diseño con la adición del 5% de la fibra de Agave Lechuguilla

En la presente investigación, las proporciones para el diseño de la mezcla se harán empleando el método del ACI, la resistencia a la compresión de diseño promedio 210 kg/cm², con ensayos a los 7, 14 y 28 días.

Con la información obtenida en los ensayos del laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro, se procederá al diseño del concreto, con estos datos del laboratorio nos permitirá el cálculo de las diferentes proporciones de los componentes del concreto.

Tabla 32.

Diseño de la viga con el 5% de la fibra

UNIVERSIDAD SAN PEDRO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2 AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"			
ORIGEN:	Cantera Coishco-Ruben		
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.	3/03/2017	
DATOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO CON 5% DE FIBRA			
MATERIALES			
CEMENTO			
	Tipo I "Pacasmayo"		
	Peso específico	3.12	
AGUA			
	Potable de la zona		
AGREGADO FINO			
	Peso específico de masa	2.72	
	Peso unitario suelto	1693.00	kg/m3
	Peso unitario compactado	1817.00	kg/m3
	Contenido de humedad	0.81	%
	Absorción	0.44	%
	Módulo de fineza	2.60	
AGREGADO GRUESO			
	Piedra, perfil angular		
	Tamaño máximo nominal	1"	
	Peso específico de masa	2.84	
	Peso unitario suelto	1445	kg/m3
	Peso unitario compactado	1462	kg/m3
	Contenido de humedad	0.85	%
	Absorción	0.80	%

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad San Pedro

- a) Selección del asentamiento: De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4".
- b) Volumen unitario de agua: Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4", sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño nominal de 1", el volumen unitario del agua es de 193 lt/m³.
- c) Relación agua/cemento (A/C): En base a la resistencia requerida a la compresión se toma el valor correspondiente de la relación agua/cemento de 0.684.
- d) Diseño de la mezcla: El método utilizado para el diseño de la mezcla es el ACI 211, como se trata de un concreto natural, según especificación de la Norma Técnica Peruana; el resultado obtenido de acuerdo a los datos técnicos en cantidad de materiales por metro cúbico de concreto y las proporciones corresponden a un concreto natural empleado en la actualidad.



Figura 42. *Elaboración de las vigas con fibra al 5% (3)*

Fuente: El Autor

Tabla 33.

Diseño de mezcla del concreto – adición 5% de fibra.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2 AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"		
ORIGEN:	Cantera Coishco-Ruben	
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.	3/03/2017
ADICION DEL 5% DE LA FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA		
DESCRIPCION		
RELACION AGUA - CEMENTO		
Relación Agua - Cemento	0.684	
VOLUMENES ABSOLUTOS		
Cemento	0.090	m3
Agua efectiva	0.193	m3
Agregado Fino	0.346	m3
Agregado Grueso	0.356	m3
Aire	0.015	m3
	1.000	m3
FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA (M3)	0.05	
PESOS SECOS		
Cemento	282.16	kg/m3
Agua efectiva	193.000	kg/m3
Agregado Fino	942.000	kg/m3
Agregado Grueso	1009.180	kg/m3
PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD		
Cemento	282.16	kg/m3
Agua efectiva	199.87	lts/m3
Agregado Fino	950.00	kg/m3
Agregado Grueso	1017.77	kg/m3
PROPORCIONES EN VOLUMEN P3		
Cemento	6.639	kg/m3
Agua efectiva	188.932	lts/m3
Agregado Fino	19.659	kg/m3
Agregado Grueso	24.663	kg/m3
Fibra de Agave Lechuguilla	12.0	kg/m3

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad San Pedro

e) Proporciones en Volumen

Cemento	6.639	kg/m3
Agua efectiva	188.932	Kg/m3
Agregado fino	19.659	Kg/m3
Agregado grueso	24.663	Kg/m3
Fibra de agave Lechuguilla	12.0	Kg/m3
1	: 0.05	: 3.54 : 3.80 31.69 lts/bolsa

Diseño con la adición del 10% de la fibra de Agave Lechuguilla

Las proporciones para el diseño de la mezcla se harán empleando el método del ACI, la resistencia a la compresión de diseño promedio 210 kg/cm^2 , con ensayos a los 7, 14 y 28 días.

Con la información obtenida en los ensayos del laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro, se procederá al diseño del concreto, con estos datos del laboratorio nos permitirá el cálculo de las diferentes proporciones de los componentes del concreto.

Tabla 34.

Diseño de la viga con el 10% de la fibra.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2 AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"			
ORIGEN:	Cantera Coishco-Rubén		
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.	3/03/2017	
DATOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO CON 10% DE FIBRA			
MATERIALES			
CEMENTO			
	Tipo I "Pacasmayo"		
	Peso específico	3.12	
AGUA			
	Potable de la zona		
AGREGADO FINO			
	Peso específico de masa	2.72	
	Peso unitario suelto	1693.00	kg/m3
	Peso unitario compactado	1817.00	kg/m3
	Contenido de humedad	0.81	%
	Absorción	0.44	%
	Módulo de fineza	2.60	
AGREGADO GRUESO			
	Piedra, perfil angular		
	Tamaño máximo nominal	1"	
	Peso específico de masa	2.84	
	Peso unitario suelto	1445	kg/m3
	Peso unitario compactado	1462	kg/m3
	Contenido de humedad	0.85	%
	Absorción	0.80	%

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad San Pedro

- a) Selección del asentamiento: De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4".
- b) Volumen unitario de agua: Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4", sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño nominal de 1", el volumen unitario del agua es de 193 lt/m³.
- c) Relación agua/cemento (A/C): En base a la resistencia requerida a la compresión se toma el valor correspondiente de la relación agua/cemento de 0.684.
- d) Diseño de la mezcla: El método utilizado para el diseño de la mezcla es el ACI 211, como se trata de un concreto natural, según especificación de la Norma Técnica Peruana; el resultado obtenido de acuerdo a los datos técnicos en cantidad de materiales por metro cúbico de concreto y las proporciones corresponden a un concreto natural empleado en la actualidad.



Figura 43. *Elaboración de las vigas con fibra al 10% (3).*

Fuente: El Autor.

Tabla 35.

Diseño de mezcla del concreto – adición 10% de fibra.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2
AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"

ORIGEN:

Cantera Coishco-Rubén

ENSAYADO POR:

Christian Alegre M.

3/03/2017

ADICION DEL 10% DE LA FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA

DESCRIPCION

VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento

0.090

m3

Agua efectiva

0.193

m3

Agregado Fino

0.346

m3

Agregado Grueso

0.356

m3

Aire

0.015

m3

1.000

m3

FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA (M3)

0.100

PESOS SECOS

Cemento

282.16

kg/m3

Agua efectiva

193.000

kg/m3

Agregado Fino

942.000

kg/m3

Agregado Grueso

1009.180

kg/m3

PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD

Cemento

282.160

kg/m3

Agua efectiva

199.870

lts/m3

Agregado Fino

950.000

kg/m3

Agregado Grueso

1017.770

kg/m3

PROPORCIONES EN VOLUMEN P3

Cemento

6.639

kg/m3

Agua efectiva

188.932

lts/m3

Agregado Fino

19.659

kg/m3

Agregado Grueso

24.663

kg/m3

Fibra de Agave lechuguilla

23.986

kg/m3

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad San Pedro

e) Proporciones en Volumen

Cemento	6.639	kg/m3
Agua efectiva	188.932	Kg/m3
Agregado fino	19.659	Kg/m3
Agregado grueso	24.663	Kg/m3
Fibra de agave Lechuguilla	23.986	Kg/m3
1	: 0.11	: 3.74 : 4.01 33.45 lts/bolsa

Tiempo de curado de las vigas experimentales

El reporte E.060.5.11. Define al “curado” como el proceso por el cual el concreto de cemento hidráulico madura, endurece y desarrolla sus propiedades con el tiempo, como resultado de la continua hidratación del cemento en presencia de suficiente agua y calor.

Adicionalmente, pone de manifiesto que existen muchos métodos para curar el concreto, mismos que dependerán de la demanda de cada circunstancia, así como de la disponibilidad de los materiales a emplearse.

El documento en mención indica que se debe curar en una cámara con agua a una temperatura aproximado de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; todas las muestras de las vigas fueron detalladas y escritas con la fecha de la creación hasta la fecha de curado final. Estas muestras fueron sumergidas en agua potable dentro de cilindros, por espacios de tiempo a los 7, 14 y 28 días, las que luego se procederán a su ensayo a la resistencia a flexión de las vigas.



Figura 44. Curado de las vigas de concreto, sumergidas en agua.

Fuente: El Autor.

Ensayo a flexión de las vigas experimentales

Transcurrido el tiempo necesario de curado de las vigas de concreto simple sin fibra, y reforzadas con fibra de agave lechuguilla, son extraídas del lugar de curado, pesadas y ensayadas a flexión de acuerdo a la norma ASTM C-78, MTC E-709-2000.

La resistencia a flexión de los especímenes se calcula mediante el módulo de rotura.



Figura 45. *Maquina ensayo a flexión de vigas.*

Fuente: El Autor.

Fallas en vigas de concreto

Todas las vigas de concreto ensayadas a los 7, 14 Y 28 días presentaron la falla en el tercio medio de la luz libre en el sitio donde se produce el momento máximo, sin formación de fisuras adicionales.

La incorporación de fibra de agave lechuguilla le proporciona al concreto, cohesión y capacidad para soportar carga aun en condición fisurada. Las fibras de pequeña longitud evitan que se propaguen las fisuras y que la viga no tenga una falla total, como se aprecia en la foto la falla sólo ocurre en el extremo donde se fisura.



Figura 46. *Modo de falla en una viga a flexión.*

Fuente: El Autor.

IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fibras

Según los análisis practicadas a la fibra de agave lechuchilla esta tiene un PH en promedio de 5.86 y ácidos de 3.34, pero esta se verá deteriorada por el medio alcalino del concreto por lo que la fibra se trató con parafina, el compuesto soporta la exposición a los ambientes agresivos y a las variaciones de la humedad y temperatura.

Espectometría y fluorescencia de Rayos X

A nivel molecular, la fibra se compone por celulosa 59.34%, hemicelulosa 17.37% y lignina 21.11%, el resto puede ser un bajo porcentaje de sapogeninas. La alcalinidad del agua en el poro del concreto disuelve a la lignina y hemicelulosa y rompe los enlaces entre las microceldas lo que la fibra se fragmenta y pequeñas unidades y pierde su capacidad de reforzar al concreto, es por ello que también la fibra fué tratada con parafina.

Resistencia a la flexión del concreto

El ensayo de la resistencia a la flexión del concreto en las vigas, se empleó el método de la viga simple cargada en el tercio de la luz (Normas ASTM C-78, MTC E-709-2000).

Para los ensayos de la resistencia a la flexión se realizaron diseño de las vigas a los 7, 14 y 28 días de curado de la viga, para ello se ensayaron las vigas patrón, y la adición del 5% y 10% de la fibra de agave lechuguilla (tres vigas por cada ensayo a flexión).

Resistencia a la flexión en vigas de concreto armado a los 7 días:

En la siguiente tabla, muestra las resistencias a la flexión en vigas de concreto a los 7 días de curado de las muestras: P7-VA-1, P7-VA-2 Y P7-VA-3, los ensayos a flexión en vigas de concreto armado, para la viga patrón con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, presentan un módulo de rotura promedio de 97.4 kg/cm^2 ; los ensayo a flexión para las vigas con la adición de la fibra en un 5% presenta una resistencia al módulo de rotura en promedio de 89.7 kg/cm^2 y los ensayo a flexión para las vigas con la adición de la fibra en un 10% presenta una resistencia al módulo de rotura en promedio de 94.0 kg/cm^2 .

Tabla 36.

Resistencia a la flexión del concreto a los 7 días.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO									
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2 AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"									
RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO									
ORIGEN:	Cantera Coishco-Ruben			FECHA :					
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.			3/03/2017					
METODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ - ENSAYO A LOS 7 DIAS									
ESPECIMEN	FECHA			ANCHO	ALTURA	LONGITUD	δ	CARGA	MODULO ROTURA
ELEMENTO	MODELO	ROTURA	EDAD	b (cm)	d (cm)	L (cm)	(mm)	P (kg)	R (kg/cm2)
P VA-1	10/02/2017	17/02/2017	7	15.20	15.10	45.10	3.05	7770.00	101.1
P VA-2	10/02/2017	17/02/2017	7	15.20	15.10	45.20	3.15	7731.00	100.8
P VA-3	10/02/2017	17/02/2017	7	15.15	15.15	45.00	2.70	6968.00	90.2
5% VA-1	17/02/2017	24/02/2017	7	15.20	15.10	45.10	3.05	7411.00	96.4
5% VA-2	17/02/2017	24/02/2017	7	15.20	15.10	45.20	3.15	6785.00	88.5
5% VA-3	17/02/2017	24/02/2017	7	15.15	15.15	45.00	2.70	6512.00	84.3
10% VA-1	17/02/2017	21/02/2017	7	15.20	15.10	45.10	3.05	7028.00	91.5
10% VA-2	17/02/2017	21/02/2017	7	15.20	15.10	45.20	3.15	7397.00	96.5
10% VA-3	17/02/2017	21/02/2017	7	15.15	15.15	45.00	2.70	7260.00	94.0

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad San Pedro.

Se observa que la viga patrón tiene mayor resistencia a la flexión en el periodo de curado a los 7 días, en comparación con las vigas con adición del 5% y 10% de la fibra del agave lechuguilla, estas están por debajo de la resistencia de los 97.4 kg/cm^2 (viga patrón); esto es debido a que recién la fibra está actuando en resistencia a la flexión por el periodo de curado temprano.

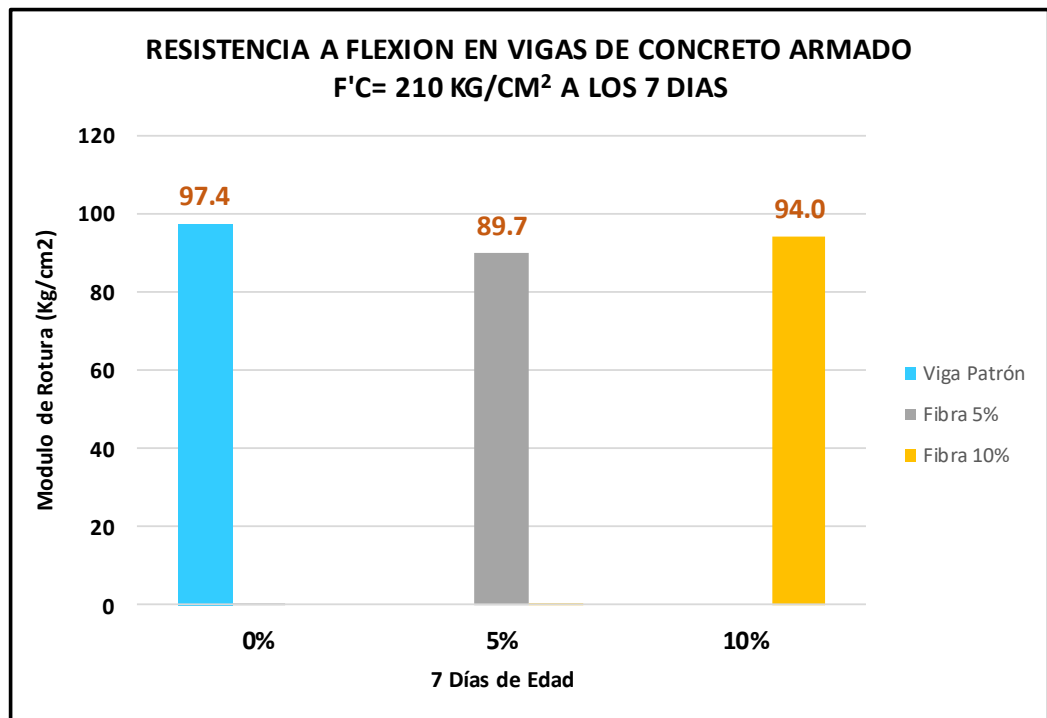


Figura 47. Resistencia a flexión en vigas a los 7 días.

Fuente: El Autor.

Interpretación de Resultados:

Finalizado los ensayos a flexión en las vigas de concreto armado $f'_c=210$ kg/cm², a los 7 días de edad; se aprecia que el concreto reforzado con la fibra 5% de agave lechuguilla no presenta ningún incremento en la resistencia a la flexión, por lo que se reduce su resistencia a 7.9%; mientras que el concreto reforzado con la fibra 10% de agave lechuguilla disminuye su resistencia a la flexión en 3.49%, en relación a la viga patrón.

Resistencia a la flexión en vigas de concreto armado a los 14 días:

La resistencia a la flexión en vigas de concreto en porcentaje final a los 14 días de curado de las muestras: P14-VA-4, P14-VA-5 Y P14-VA-6, los ensayos a flexión en vigas de concreto armado para la viga patrón con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, presentan un módulo de rotura promedio de 117.1 kg/cm^2 ; los ensayo a flexión para las vigas con la adición de la fibra en un 5% presenta una resistencia al módulo de rotura en promedio de 117.7 kg/cm^2 y los ensayo a flexión para las vigas con la adición de la fibra en un 10% presenta una resistencia al módulo de rotura en promedio de 120.9 kg/cm^2 .

Tabla 37.

Resistencia a la flexión del concreto a los 14 días.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO									
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2 AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"									
RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO									
ORIGEN:	Cantera Coishco-Ruben			FECHA :				3/03/2017	
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.			METODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ - ENSAYO A LOS 14 DIAS					
ESPECIMEN		FECHA		ANCHO	ALTURA	LONGITUD	δ	CARGA	MODULO ROTURA
ELEMENTO	MODELO	ROTURA	EDAD	b (cm)	d (cm)	L (cm)	(mm)	P (kg)	R (kg/cm2)
P14-VA-4	10/02/2017	24/02/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.95	9273.00	120.0
P14-VA-5	10/02/2017	24/02/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.30	9089.00	117.6
P14-VA-6	10/02/2017	24/02/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.90	8782.00	113.6
M14-5% VA-4	17/02/2017	03/03/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.95	9220.00	119.3
M14-5% VA-5	17/02/2017	03/03/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.30	9056.00	117.2
M14-5% VA-6	17/02/2017	03/03/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.90	9007.00	116.6
M14-10% VA-4	14/02/2017	28/02/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.95	9390.00	121.5
M14-10% VA-5	14/02/2017	28/02/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.30	9337.00	120.8
M14-10% VA-6	14/02/2017	28/02/2017	14	15.15	15.15	45.00	2.90	9298.00	120.3

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos - Universidad San Pedro.

Se aprecia en la gráfica que la resistencia a la flexión se va incrementando a medida que aumenta el periodo de curado, como se aprecia a los 14 días (Graf. N° 13), las vigas que contienen el 10% de la fibra del agave lechuguilla se incrementado más que la del 5%.

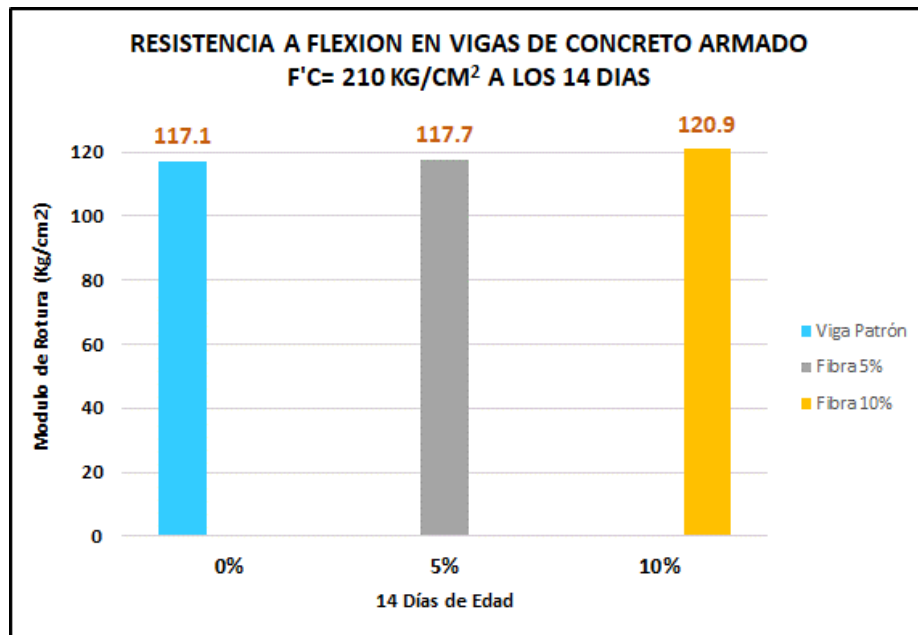


Figura 48. Resistencia a flexión en vigas a los 14 días.

Fuente: El Autor.

Interpretación de Resultados:

Finalizado los ensayos a flexión en las vigas de concreto armado $f'_c=210$ kg/cm², a los 14 días de edad, se aprecia que el concreto reforzado con las fibras del 5% y 10% se incrementaron en su resistencia a la flexión en un 0.51% y en 3.24% en relación a la viga patrón.

A los 14 días de curado se aprecia que la viga que tiene la adición del 10% de las fibras se incrementó más que las otras, debido a que el concreto se va haciendo más fuerte.

Resistencia a la flexión en vigas de concreto armado a los 28 días:

La resistencia a la flexión en vigas de concreto en porcentaje final a los 14 días de curado de las muestras: P28-VA-7, P28-VA-8 Y P28-VA-9, los ensayos a flexión en vigas de concreto armado para la viga patrón con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, presentan un módulo de rotura promedio de 125.4 kg/cm^2 ; los ensayo a flexión para las vigas con la adición de la fibra en un 5% presenta una resistencia al módulo de rotura en promedio de 122.1 kg/cm^2 y los ensayo a flexión para las vigas con la adición de la fibra en un 10% presenta una resistencia al módulo de rotura en promedio de 130.0 kg/cm^2 .

Tabla 38.

Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO									
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$ AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"									
RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO									
ORIGEN:	Cantera Coishco-Ruben			FECHA :				3/03/2017	
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.			METODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ - ENSAYO A LOS 28 DIAS					
ESPECIMEN	FECHA			ANCHO	ALTURA	LONGITUD	δ	CARGA	MODULO ROTURA
ELEMENTO	MODELO	ROTURA	EDAD	b (cm)	d (cm)	L (cm)	(mm)	P (kg)	R (kg/cm2)
P28-VA-7	10/02/2017	10/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.12	9460.00	122.4
P28-VA-8	10/02/2017	10/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.50	9880.00	127.9
P28-VA-9	10/02/2017	10/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.46	9720.00	125.8
M28-5% VA-7	17/02/2017	17/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.12	9560.00	123.7
M28-5% VA-8	17/02/2017	17/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.50	9480.00	122.7
M28-5% VA-9	17/02/2017	17/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.46	9260.00	119.8
M28-10% VA-7	14/02/2017	14/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.12	9970.00	129.0
M28-10% VA-8	14/02/2017	14/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.50	10180.00	131.7
M28-10% VA-9	14/02/2017	14/03/2017	28	15.15	15.15	45.00	3.46	9985.00	129.2

Fuente: El Autor.

En la gráfica podemos observar, quien ofrece mayor resistencia a la flexión es la viga que posee el 10% de la fibra, y que también a medida que aumenta el curado del concreto, también aumenta su resistencia.

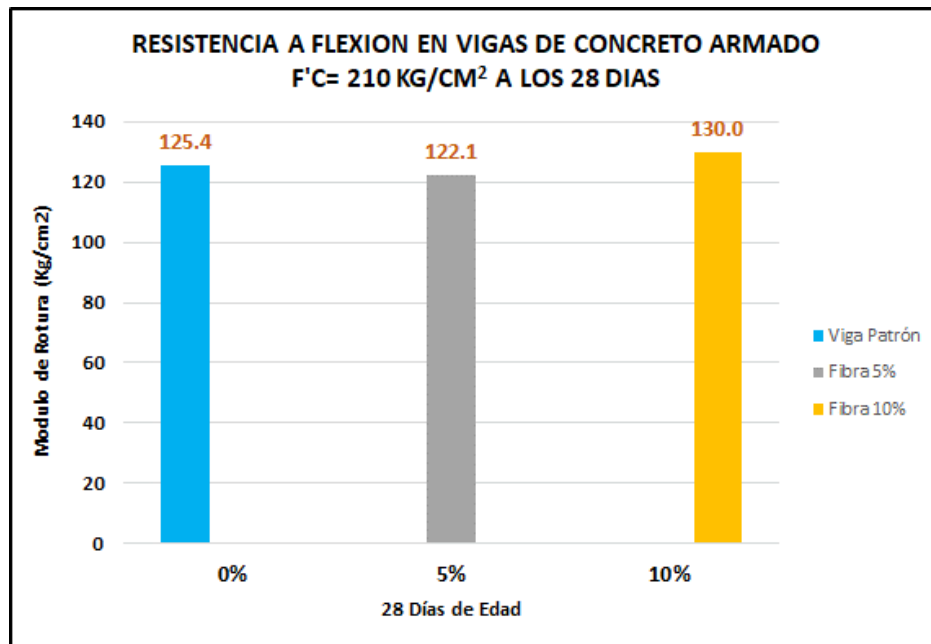


Figura 49. Resistencia a flexión en vigas a los 28 días.

Fuente: El Autor.

Interpretación de Resultados:

Finalizado los ensayos a flexión en las vigas de concreto armado $f'_c=210$ kg/cm², a los 28 días de edad, se aprecia que el concreto reforzado con la fibra 5% de agave lechuguilla presenta una resistencia a la flexión de 2.63% y la que tiene las fibras al 10% de agave lechuguilla presenta una resistencia a la flexión de 3.66%; esto nos da a entender que ha mayor periodo de curado de la viga, la resistencia a la flexión se incrementa con la adición de la fibra al 10%.

Comparación de la resistencia a la flexión vs días de curado:

En la siguiente tabla se muestra los porcentajes promedios de las vigas, obtenidas de los ensayos de resistencia a la flexión del concreto con las fibras y del concreto patrón alcanzados durante los días de curado (7, 14 y 28 días).

La presente gráfica representa el comportamiento de la resistencia de diseño a flexión de la viga cuando se le adiciona las fibras de agave lechuguilla en porcentajes de 5% y 10%, según los días de curados (7, 14 y 28 días). El comportamiento del concreto que tiene la adición del 10% con la fibra, se ve que aumenta su resistencia a la flexión a medida aumenta el curado del concreto; también se debe a que tiene mayor cantidad de la fibra dispersa en toda la estructura de la viga, con relación a la que tiene el 5% de la fibra.

Tabla 39.

Resistencia a la flexión en vigas de concreto armado a los 7, 14 y 28 días.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
TESIS: "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO F'C=210 KG/CM2				
AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"				
RESISTENCIA A LA FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO				
ORIGEN:	Cantera Coishco-Ruben			
ENSAYADO POR:	Christian Alegre M.		3/03/2017	
PROMEDIO DE ROTURA DE LAS VIGAS				
N°	Adición	DIAS		
		7	14	28
1	0%	97.40	117.10	125.40
2	5%	89.70	117.70	122.10
3	10%	94.00	120.90	130.00

Fuente: El Autor.

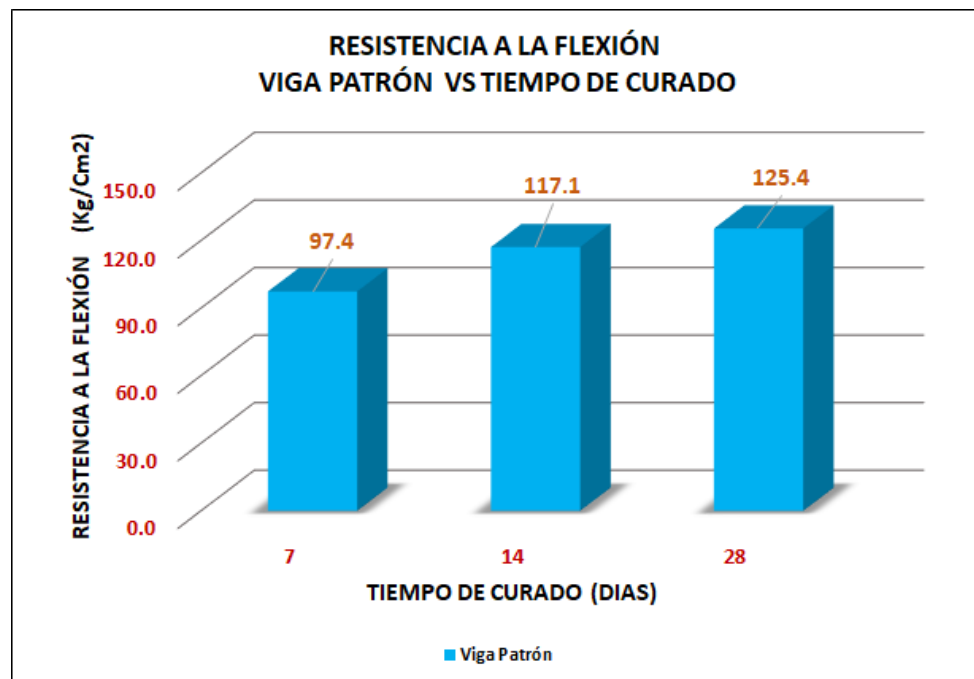


Figura 50. Resistencia viga patrón vs tiempo de curado.

Fuente: El Autor.

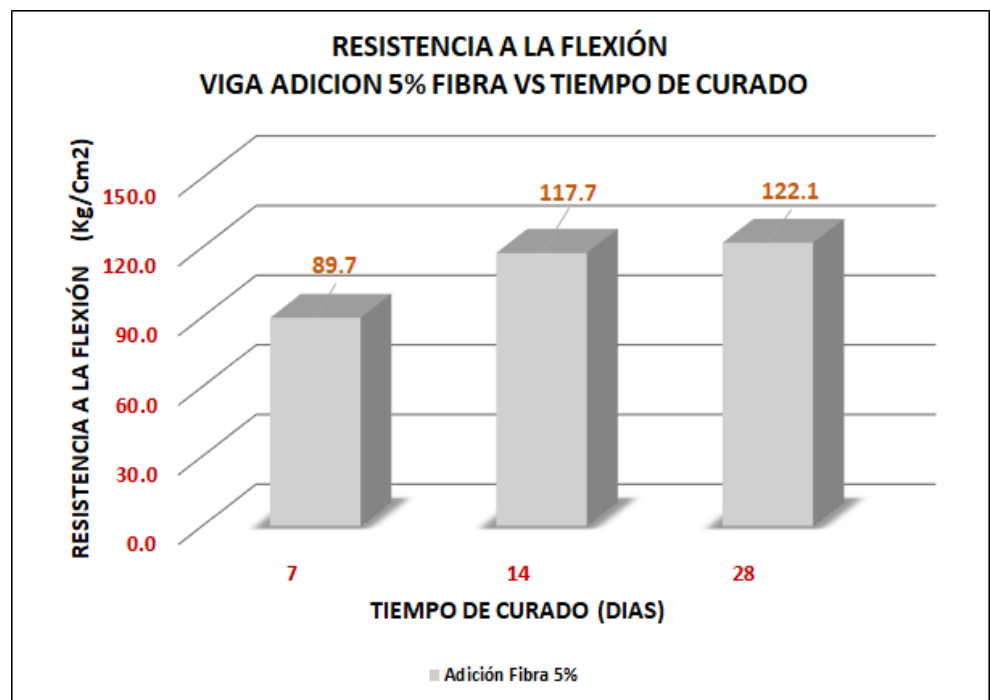


Figura 51. Resistencia viga fibra 5% vs tiempo de curado.

Fuente: El Autor.

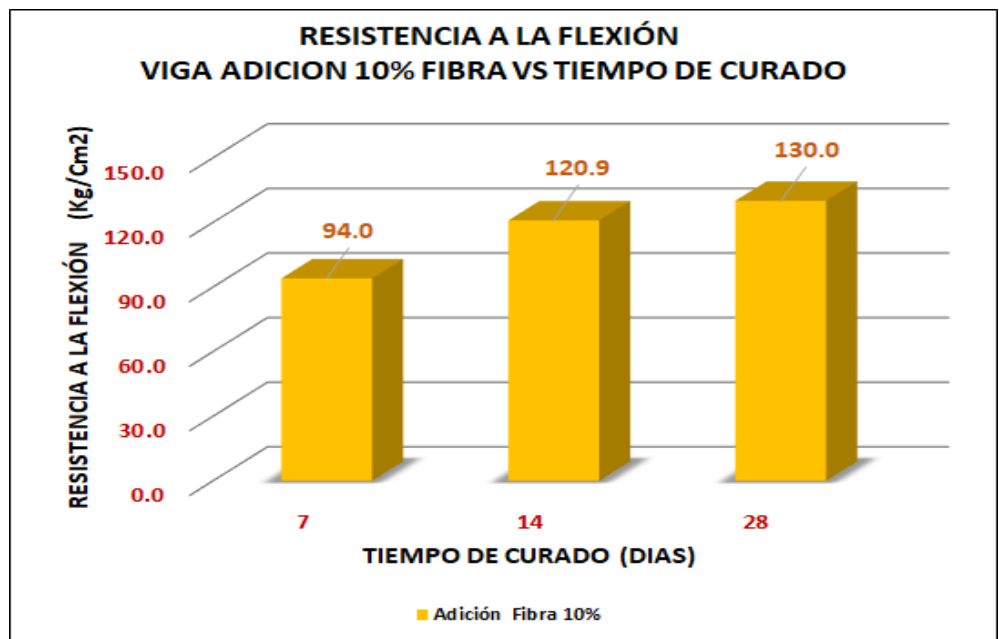


Figura 52. Resistencia viga fibra 10% vs tiempo de curado.

Fuente: El Autor.

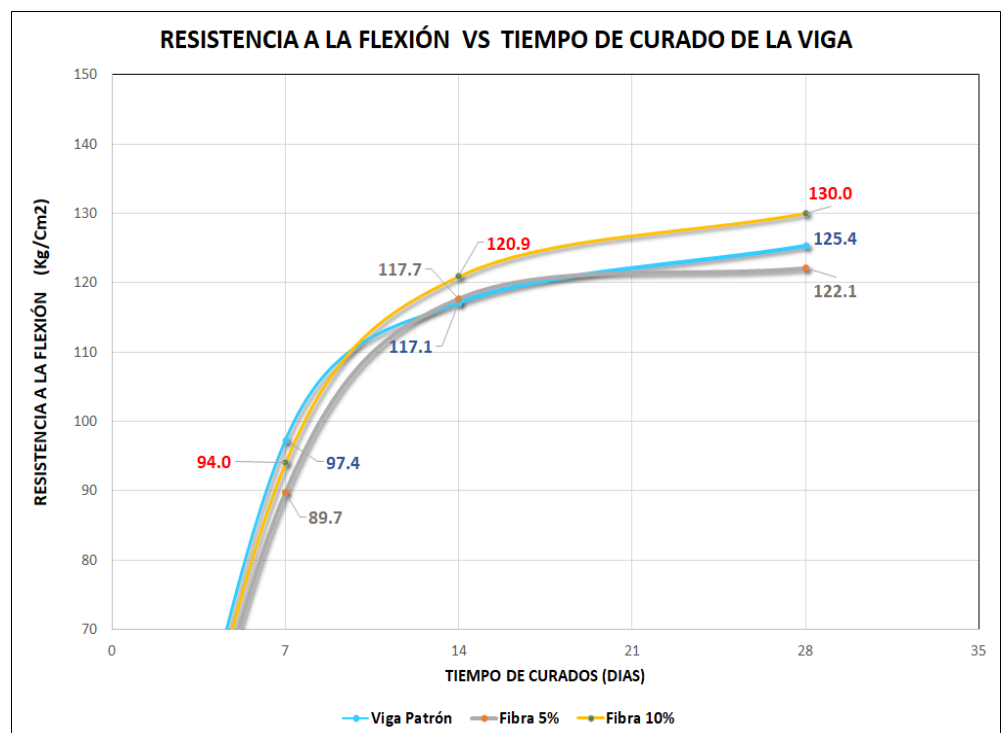


Figura 53. Resistencia a flexión vs tiempo de curado de la viga.

Fuente: El Autor.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos a flexión efectuados en vigas de concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días, muestran que el concreto con la fibra al 10% y a los 28 días de curado, posee mayor resistencia a la flexión en 130 kg/cm^2 , que representa el 3.70% mayor con respecto a la viga patrón que sólo alcanza el 125.4 kg/cm^2 .

Por lo tanto, la hipótesis planteada fue: “Si se adiciona 5% y 10% de fibra agave lechuguilla, a una viga de concreto armado $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, entonces se obtendrá una mayor resistencia a la flexión”

Luego de analizar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio se verifica que las vigas con fibra de agave lechuguilla dispersas mejoran su comportamiento a la flexión, cuando la mezcla tenga en su composición la adición del 10% de la fibra llega a obtener una resistencia a la flexión en 130 kg/cm^2 .

Por tanto, nuestra hipótesis se cumple parcialmente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X realizado a la fibra de agave lechuguilla, muestran que sus componentes químicos en mayor proporción es la del titanio (Ti) y su elemento de menor concentración el Calcio (Ca), además la fibra está formada por microceldas individuales unidas entre si por medio de la Celulosa 59.34%, hemicelulosa 17.37% y la Lignina 21.11% y el resto en bajo porcentaje de Saponinas.

Los Resultados de la fibra de agave lechuguilla (maguey) indican que su grado de acidez está en un promedio de 3.34 y de alcalinidad (PH) 5.86; donde la interacción química de la fibra con la matriz alcalina del cemento provoca un deterioro químico de la Lignina y la Hemicelulosa, la alcalinidad del agua en el poro del cemento disuelve a la Lignina y Hemicelulosa y rompe los enlaces entre las microceldas lo que hace que la fibra se fragmente en pequeñas unidades y pierda su capacidad de reforzar al concreto; por lo que se realiza el tratamiento protector con parafina a las fibras cortadas en 3 cm de longitud las que permiten a la fibra reducir la absorción del agua en un 28% y mantener en un porcentaje aceptable en su resistencia a las cargas de tensión y flexión en las vigas de concreto.

La relación agua cemento para un metro cubico de la viga patrón y para las vigas al 5% y 10% con la adición de la fibra fueron: cemento 6.639 kg/m³, agua efectiva 188.932 lt/cm³, agregado fino 19.659 kg/m³, arena gruesa 24.663 kg/m³ con las adiciones de las fibras del agave lechuguilla (maguey) al 5% con 12 kg/m³ y al 10% con 23.986 kg/m³, todas estas vigas fueron curadas a los 7,

14 y 28 días, con muestras de ensayos tres por cada viga, haciendo un total de 27 vigas.

Los resultados favorables obtenidos fueron las pruebas de la resistencia a la flexión en vigas de concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de la fibra al 10% a los 28 días de curado, teniéndose una resistencia de 130 kg/cm^2 con respecto a la viga patrón que sólo alcanzo la resistencia a 125.4 kg/cm^2 , obteniéndose un incremento en su resistencia a la flexión en 3.69%. Las fibras de agave lechuguilla tienen significativas propiedades físico-mecánicas, tal como su resistencia última a tensión, que les permite ser consideradas como posible refuerzo en el concreto.

RECOMENDACIONES

Buscar y emplear otros tratamientos químicos que permitan disminuir en mayor porcentaje la capacidad de absorción en la fibra de agave lechuguilla y así lograr la durabilidad de la misma.

Continuar con estudios e investigaciones donde se incorporen diferentes porcentajes de fibra de Agave Lechuguilla en el concreto al ser usado en el presente trabajo para conocer la influencia que puedan tener en la resistencia a flexión del concreto.

Desarrollar una mayor variedad de relación agua / cemento, para crear tablas con diferentes diseños en la adición de la fibra en el concreto para vigas.

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a mis padres Oliva Montalvo Laguna y Teófilo Alejandro Alegre Rodríguez, por su apoyo en la conducción de mi vida profesional basado en los principios morales; su gran amor de padres que tanto he necesitado y que siempre necesitaré en mi vida profesional.

A mis hermanos: Jenny, Guissela, Ricahrd, Junnior, Susan y Alan por su apoyo incondicional y sus mejores deseos para lograr lo que me propuse alcanzar.

A Úrsula, mi esposa, por su apoyo y comprensión para concluir mis estudios profesionales, a mis hijos Christian, Ario y Estephany, quiero decirles que este logro es el resultado del amor y la paciencia que siempre me han brindado, los amo.

Al Mag. Fabian y Zenobia, mis suegros, Dayana mi sobrina y mi cuñada Gaby, quiero agradecerles todo el apoyo que nos han brindado y dedicarles este esfuerzo ya que ustedes son una parte muy importante de nuestras vidas.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a los distinguidos maestros de la escuela de Ingeniería Civil de la San Pedro Huaraz, quienes con sus sabias enseñanzas y ejemplos me guiaron y orientaron durante el tiempo que tuve la condición de estudiante y coadyudaron a mi desarrollo profesional y personal, sobre todo mi reconocimiento a mi asesor Ing. Miguel Ángel Solar Jara y al Ing. Jorge Montañez.

Finalmente, a todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su colaboración y apoyo para la realización y culminación del presente trabajo de investigación. Gracias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM C 1116-03 (2003). Estándar Especificación for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete.
- Azis, M.A, Paramaswivam, P, y Lee, S.L. (1984). Concrete Reinforced with Natural Fibers” Concrete Technology and Design vol 2. New Reinforced Concretes, edit by R. N. Swamy, Surrey University Press, U.K. 1984, pp. 106 -140.
- Cadillo y Cano (2014). Resistencia de la compresión de un concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando fibras de agave lechuguilla., 2014.
- Campbell y Coutts, (1980) R.S.P. Wood Fiber-Reinforced Cement Composites. J. Material Science 15, 1980, pp 1962-1970.
- Carbajal, e. p. (1998). Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. 2da edición Lima, 1998, pp. 12-18.
- Castillo, D. (2009). Recolección, extracción y uso de la fibra de Lechuguilla. Centro de Investigación Regional del Noreste Experimental Saltillo – México. Pp. 256-260.
- Castro J. Naaman, A.E. (1981). Cement Mortar Reinforced with Natural Fibers. ACI Journal, Proceedings Vol. 78 N° 1, Jan-Feb 1981, pp. 69-78.
- Castro y Naaman (1981). Cement Mortar Reinforced with Natural Fibers. ACI Journal, Proceedings, Vol 78, N° 1. Jan-Feb 1981, pp. 69-78.
- Cevallos, V. (2014). Apuntes de Hormigón, Ambato, 2014, pp. 12-15.
- Couffs R.S.P. (1987). Fibre Matriz interface in Air Cured Wood-Pulp Fibre-Cement Composites. Journal of Materials Science Letters 1987, pp. 562-564.

- Filho, (1990). Mortar Reinforced with Sisal – Mechanical Behavior in Flexure. Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H.S. Sobral, 1990, pp. 130-138.
- Gallegos H.F. (1986). Use of Vegetables Fibres as Building Materials in Perú. Joint Symposium RILEM/CIB/NCCL, Baghdad Iraq, October 1986, pp. 25 – 34.
- Giraldo, O (2003). Manual de Agregados para el concreto. Medellín, Colombia, pp 164-167.
- Gonzales, M. Y Gonzales, M. (1962). Tecnología del Concreto de Diseño de Mezclas. 1962, pp.120-124.
- González, O. M. (2005). Secciones T de aspectos fundamentales del concreto reforzado, México, Limusa S.A. 2005, pp. 468.
- Gram, H.F. (1998). Durability of Natural Fibres in Concrete. Concrete Technology and Desig. Vol 5: Natural Fibre reinforced Cement and concrete, London, Blackie and Son Ltd. 1988, pp. 143 - 172
- Harmsen, T. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado, Lima Perú: Fondo Editorial.
- Hussin, M. W., Zakaria F. (1990). Prospects for Coconut-Fibre-Reinforced Thin Cement Sheets in the Malasysian Construction Industry. Second International RILEM Symposium Proccedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H.S. Sobral, 1990, pp. 77-86.
- I.C.G. – Perú (2006). Tecnología de los Materiales. Materiales de Construcción 3ra Edición, Lima San Isidro – Perú.
- Juárez C, (2002). Concreto base Cemento Portland reforzado con fibras naturales. Zacatecas – México – Universidad Autónoma de Nueva Leona.

- Juarez, C. (2002). Concretos base Cemento Portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla), como materiales para construcción en México, México.
- Juárez, C. A. (2002). Concreto base cemento Portland reforzados con fibras naturales (agave lechuguilla) como materiales para construcción en México. Biblioteca Universidad Autónoma de Nuevo León, dirección general de Bibliotecas, 2002, pp. 52-57.
- Kadir M.R.A. (1990). Use of vegetable Plants in Housing Construction in Northern Iraq. Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H. S. Sobral, 1990, pp 314-318.
- Medina, W. (2011). Hormigón Armado, Nivel I, Ambato, 2011, pp. 22-23-24-25.
- Menéndez, E. y Velasco, Y. (2005). Esfuerzos y Cargas en una estructura de Control de Ejecución de Estructuras. España, Ex Nova, 2005, pp. 46.
- Metha K., Monteiro, P. (1998). Concreto Estructura, Propiedades y Materiales. Instituto mexicano del Cemento y del Concreto, A. C, México, 1998, pp. 286-297.
- Nilson. H. (1999). Torsión de Diseño de Estructuras de Concreto, Colombia, McGRAW, 1999, pp. 222.
- Nishihara, Jorge (2012). Influencia de las fibras Naturales de Maguey a manera de Adiciones en el Control de Fisuras por Contracción Plástica en los Pavimentos Rígidos de Concreto Hidráulico, Perú 2012
- Parker, H. (1978). Cortante y Momento Flexionante en Vigas de diseño simplificado de Concreto Reforzado. México, Limusa, 1978, pp. 49.

- Pérez, t.; Mateos, J.M. y Gómez, P. A. (1992). Estudio de vigas de resistencia de Materiales, Salamanca (España) Ediciones Universidad de Salamanca, 1992, pp. 71.
- Pérez, V. (1993). Elementos sometidos a flexión de Diseño y cálculo de estructuras de Concreto Reforzado, México, Trillas, 1993, pp. 24-25-26.
- Rivva V. R. (2008) Concreto reforzado con fibra de vidrio. II Simposio Internacional sobre Tecnología del Concreto, Monterrey NL, Facultad de Ing. Civil, UANL, 2007, pp. 25-32.
- Rivva V. R. (2008). Concreto reforzado con fibra de vidrio. II Simposio Internacional sobre Tecnología del Concreto, Monterrey NL, Facultad de Ing. Civil, UANL, 2007, pp. 19-46.
- Romo, M. (2008). Torsión en Elementos de Hormigón Armado, Ecuador, 2008, pp. 156-160.
- Romo, R. (2008). Diseño a Cortante de Vigas de Hormigón Armado. Ecuador, 2008.
- Studinka (1982). Asbestos Substitution in the Fibre Cement Insdustry. Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete. Vol 11 N° 2, 1982, pp. 73-78.
- Swamy (1990). Vegetable Fibre Reinforced Cement Composites – a False Dream or a Potential Reality. Second International RILEM Symposium Proceedings, Salvador Bahia Brazil, Chapman and Hall, edited by H.S. Sobral, 3-8.
- Swift y Smith (1979). Sisal-Cement Composites as Low-Cost Construction Materials. Appropriate Technology, London, Vol. 6 N° 3, 1979, pp. 6-8.
- Torre A. (2004). Tecnología del Concreto. Universidad Nacional de Ingeniería Lima 2004.

Young, J. F. (1998). Mindess, S, Gray R. J., Bentur, A. "The Science Technology of Civil Engineering Materials. ed. By Prentice Hall Inc. 1998, pp. 359 – 371.

Zapién, M. (1980). Evaluación de la producción de Ixtle de Lechuguilla en cuatro sitios Diefrentes”, Primera reunión nacional sobre ecología, Manejo y domesticación de las plantas útiles del desierto, Memoria del instituto Nacional de investigación Forestales, SARH Monterrey, NL, México 1980, pp. 385 – 389.

Constructor Civil, (2011). Tips para la Construcción de Edificaciones: Casas Materiales y Equipos de Construcción, 1-2. Recuperado de <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/estructura-del-concreto.html>.

Cesar A. Juarez, (2002), Concretos base cemento portland reforzados con fibras (agave lechuguilla), como materiales Para la construcción en México, 1-156. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/5833/1/1020150648.PDF>

ANEXOS

ANEXO N° 01

**Fichas de laboratorio de
Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Universidad San Pedro**



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
DISEÑO DE MEZCLA

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : *RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO $F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$, AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA*
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
FECHA : 03/03/2017

ESPECIFICACIONES

- La selección de las proporciones se hará empleando el metodo del ACI
- La resistencia en compresión de diseño especificada es de 210 kg/cm^2 , a los 28 días.

MATERIALES

A.- Cemento :

- Tipo I "Pacasmayo"
- Peso especifico 3.12

B.- Agua :

- Potable, de la zona.

C.-Agregado Fino :

CANTERA : COISHCO-RUBEN

- Peso especifico de masa 2.72
- Peso unitario suelto 1693 kg/m^3
- Peso unitario compactado 1817 kg/m^3
- Contenido de humedad 0.81 %
- Absorción 0.44 %
- Módulo de fineza 2.60

D.- Agregado grueso

CANTERA : COISHCO-RUBEN

- Piedra, perfil angular
- Tamaño Máximo Nominal 1"
- Peso especifico de masa 2.84
- Peso unitario suelto 1445 kg/m^3
- Peso unitario compactado 1462 kg/m^3
- Contenido de humedad 0.85 %
- Absorción 0.80 %





USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4".

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4", sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1", el volumen unitario de agua es de 193 lt/m³.

RELACIÓN AGUA - CEMENTO

Se obtiene una relación agua - cemento de 0.684

FACTOR DE CEMENTO

F.C. : $193 / 0.684 = 282.16 \text{ kg/m}^3 = 6.64 \text{ bolsas / m}^3$

VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS

Cemento.....	282.164 kg/m ³
Agua efectiva.....	188.932 lts/m ³
Agregado fino.....	950.001 kg/m ³
Agregado grueso.....	1017.769 kg/m ³

PROPORCIONES EN PESO

$$\frac{282.16}{282.16} : \frac{950.001}{282.16} : \frac{1017.77}{282.16}$$
$$1 : 3.37 : 3.61 : 28.46 \text{ lts / bolsa}$$

PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$1 : 2.96 : 3.71 : 28.46 \text{ lts / bolsa}$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DISEÑO DE MEZCLA

(5% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA EN VOLUMEN DEL CONCRETO)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
FECHA : 03/03/2017

ESPECIFICACIONES

- La selección de las proporciones se hará empleando el método del ACI
- La resistencia en compresión de diseño promed 210 kg/cm^2 , a los 28 días.

MATERIALES

A.- Cemento :

- Tipo I "Pacasmayo"
- Peso específico 3.12

B.- Agua :

- Potable, de la zona.

C.-Agregado Fino :

CANtera : COISHCO-RUBEN

- Peso específico de masa 2.72
- Peso unitario suelto 1693 kg/m^3
- Peso unitario compactado 1817 kg/m^3
- Contenido de humedad 0.81 %
- Absorción 0.44 %
- Módulo de fineza 2.60

D.- Agregado grueso

CANtera : COISHCO-RUBEN

- Piedra, perfil angular
- Tamaño Máximo Nominal 1"
- Peso específico de masa 2.84
- Peso unitario suelto 1445 kg/m^3
- Peso unitario compactado 1462 kg/m^3
- Contenido de humedad 0.85 %
- Absorción 0.80 %



www.usanpedro.edu.pe

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n - Chimbote
Telf. (043) 323505 - 326150 - 329486 Anexo 208
Email: imsyem@usanpedro.edu.pe



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4" .

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4" , sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1" , el volumen unitario de agua es de 193 lt/m³ .

RELACIÓN AGUA - CEMENTO

Se obtiene una relación agua - cemento de 0.684

VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento.....	(m ³)	0.090
Agua efectiva.....	(m ³)	0.193
Agregado fino.....	(m ³)	0.346
Agregado grueso.....	(m ³)	0.355
Aire.....	(m ³)	0.015
		1.000 m³

FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA..... (m³) 0.050

PESOS SECOS

Cemento.....	282.16 kg/m ³
Agua efectiva.....	193.00 lts/m ³
Agregado fino.....	942.35 kg/m ³
Agregado grueso.....	1009.18 kg/m ³

PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD

Cemento.....	282.16 kg/m ³
Agua efectiva.....	199.87 lts/m ³
Agregado fino.....	950.00 kg/m ³
Agregado grueso.....	1017.77 kg/m ³

PROPORCIONES EN VOLUMEN P3

Cemento.....	6.639 kg/m ³
Agua efectiva.....	188.932 lts/m ³
Agregado fino.....	19.659 kg/m ³
Agregado grueso.....	24.663 kg/m ³
FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA.....	11.993 kg/m ³

PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$\frac{6.64}{6.64} : \frac{11.993}{6.64} : \frac{19.66}{6.64} : \frac{24.66}{6.64}$$

$$1 : 1.81 : 2.96 : 3.71 \quad 28.458 \text{ lts / bolsa}$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes

www.usanpedro.edu.pe

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n - Chimbote
Telf. (043) 323505 - 326150 - 329486 Anexo 208
Email: imsyem@usanpedro.edu.pe



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DISEÑO DE MEZCLA

(10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA EN VOLUMEN DEL CONCRETO)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'C = 210 KG/CM2, AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
FECHA : 03/03/2017

ESPECIFICACIONES

- La selección de las proporciones se hará empleando el metodo del ACI
- La resistencia en compresión de diseño promedio 210 kg/cm², a los 28 días.

MATERIALES

A.- Cemento :

- Tipo I "Pacasmayo"
- Peso especifico 3.12

B.- Agua :

- Potable, de la zona.

C.-Agregado Fino :

CANTERA : COISHCO-RUBEN

- Peso especifico de masa 2.72
- Peso unitario suelto 1693 kg/m³
- Peso unitario compactado 1817 kg/m³
- Contenido de humedad 0.81 %
- Absorción 0.44 %
- Módulo de fineza 2.60

D.- Agregado grueso

CANTERA : COISHCO-RUBEN

- Piedra, perfil angular 1"
- Tamaño Máximo Nominal 2.84
- Peso especifico de masa 1445 kg/m³
- Peso unitario suelto 1462 kg/m³
- Peso unitario compactado 1462 kg/m³
- Contenido de humedad 0.85 %
- Absorción 0.80 %





USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4".

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4", sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1", el volumen unitario de agua es de 193 lt/m³.

RELACIÓN AGUA - CEMENTO

Se obtiene una relación agua - cemento de 0.684

VOLUMENES ABSOLUTOS

Cemento.....	(m ³)	0.090
Agua efectiva.....	(m ³)	0.193
Agregado fino.....	(m ³)	0.346
Agregado grueso.....	(m ³)	0.355
Aire.....	(m ³)	0.015
		1.000 m³

FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA..... (m³) 0.100

PESOS SECOS

Cemento.....	282.16 kg/m ³
Agua efectiva.....	193.00 lts/m ³
Agregado fino.....	942.35 kg/m ³
Agregado grueso.....	1009.18 kg/m ³

PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD

Cemento.....	282.16 kg/m ³
Agua efectiva.....	199.87 lts/m ³
Agregado fino.....	950.00 kg/m ³
Agregado grueso.....	1017.77 kg/m ³

PROPORCIONES EN VOLUMEN P3

Cemento.....	6.639 kg/m ³
Agua efectiva.....	188.932 lts/m ³
Agregado fino.....	19.659 kg/m ³
Agregado grueso.....	24.663 kg/m ³
FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA.....	23.986 kg/m ³

PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$\frac{6.64}{6.64} : \frac{23.986}{6.64} : \frac{19.66}{6.64} : \frac{24.66}{6.64}$$

$$1 : 3.61 : 2.96 : 3.71 \quad 28.458 \text{ lts / bolsa}$$



UNIVERSIDAD SAN P
FACULTAD DE INGENIE
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez
JEFE

www.usanpedro.edu.pe

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n - Chimbote
Telf. (043) 323505 - 326150 - 329486 Anexo 208
Email: imsyem@usanpedro.edu.pe



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

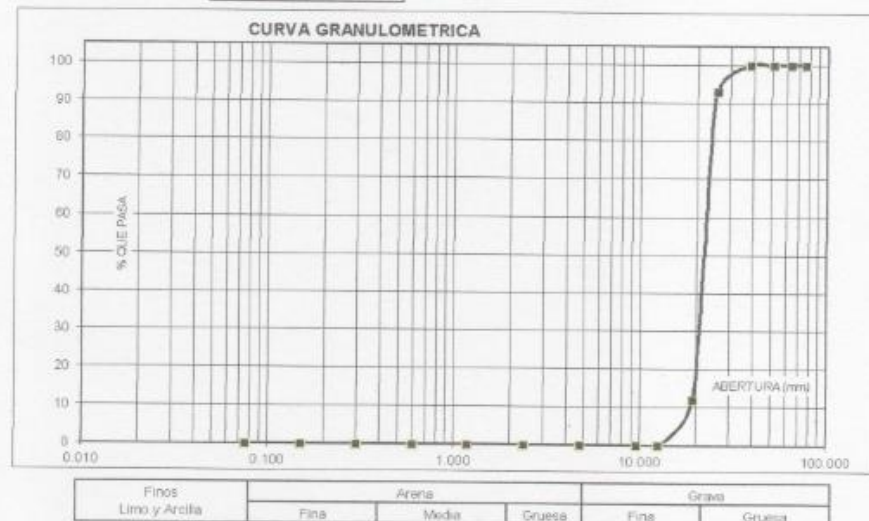
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO (ASTM C 136-06)

SOLICITA : BACH. CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'c = 210 KG/CM², AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : COISHCO-RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/03/2017

TAMIZ	Abert.(mm)	Peso retenido (gr.)	% ret. Parcial (%)	% ret. Acum. (%)	% Que pasa (gr.)
Nº					
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2 3/4"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 3/4"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	113.5	7.0	7.0	93.0
3/4"	19.100	1312.4	81.0	88.1	11.9
3/8"	12.500	193.4	11.9	100.0	0.0
3/16"	9.520	0.0	0.0	100.0	0.0
Nº 4	4.750	0.0	0.0	100.0	0.0
Nº 8	2.360	0.0	0.0	100.0	0.0
Nº 16	1.180	0.0	0.0	100.0	0.0
Nº 30	0.600	0.0	0.0	100.0	0.0
Nº 50	0.300	0.0	0.0	100.0	0.0
Nº 100	0.150	0.0	0.0	100.0	0.0
Nº 200	0.075	0.0	0.0	100.0	0.0
PLATO	ASTM C-117-84	0	0.0	100.0	0.0
TOTAL		1619.3	100.0		

PROPIEDADES FÍSICAS	
Tamaño Máximo Nominal	1"
Huso	Nº 5 Ref. (ASTM C-33)

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE

www.usanpedro.edu.pe

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n - Chimbote
Telf. (043) 323505 - 326150 - 329486 Anexo 208
Email: imsyem@usanpedro.edu.pe



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

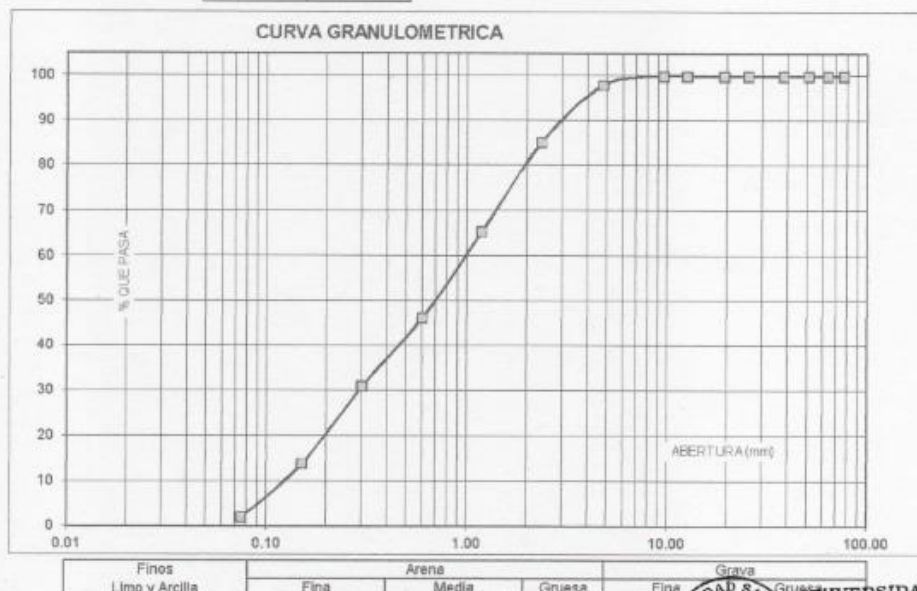
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO
(ASTM C 136-06)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'C = 210 KG/CM2, AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA"
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
CANTERA : COISHCO-RUBEN
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 03/03/2017

TAMIZ	Peso retenido	% ret. Parcial	% ret. Acumu.	% Que pasa
N°	Abert.(mm)	(gr.)	(%)	(gr.)
3"	76.20	0.0	0.0	100.0
2 1/4"	63.50	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.10	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.50	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.52	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.76	19.6	2.0	98.0
N° 8	2.36	127.6	12.8	85.3
N° 16	1.18	198.9	19.9	65.4
N° 30	0.60	190.8	19.1	46.3
N° 60	0.30	153.3	15.3	31.0
N° 100	0.15	170.5	17.1	13.9
N° 200	0.08	119.5	12.0	2.0
PLATO	ASTM C-117-04	19.8	2.0	0.0
TOTAL		1000.0	100.0	

PROPIEDADES FÍSICAS	
Módulo de Fineza	2.60

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.



Finos	Arena			Grava
Limo y Arcilla	Fina	Media	Gruesa	Fina



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE

www.usanpedro.edu.pe

Ciudad Universitaria - Urb. Los Pinos Mz. B s/n - Chimbote
Telf: (043) 323505 - 326150 - 329486 Anexo 208
Email: imsyem@usanpedro.edu.pe



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO
(ASTM D-2216)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'c = 210 KG/CM2, AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : COISHCO-RUBEN
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 03/03/2017

PRUEBA N°	01	02
TARA N°		
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	637.4	876.9
TARA + SUELO SECO (gr)	633.5	871.6
PESO DEL AGUA (gr)	3.9	5.3
PESO DE LA TARA (gr)	165.4	201.9
PESO DEL SUELO SECO (gr)	468.1	669.7
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.83	0.79
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)	0.81	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO
(ASTM D-2216)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : *RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'C = 210 KG/CM2, AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA*
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
CANTERA : GOISHCO-RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/03/2017

PRUEBA N°	01	02
TARA N°		
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	1442.6	1537.3
TARA + SUELO SECO (gr)	1432.5	1525.4
PESO DEL AGUA (gr)	10.1	11.9
PESO DE LA TARA (gr)	166.2	211.1
PESO DEL SUELO SECO (gr)	1266.3	1314.3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.80	0.91
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)	0.85	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Jorge Montañez Reyes
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO FINO (Según norma ASTM C-127)

SOLICITA : BACH. CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'c = 210 KG/CM2, AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : COISHCO-RUBEN
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 03/03/2017

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	gr	300.00	300.00
B	Peso de picnometro + agua	gr	661.60	661.60
C	Volumen de masa + volumen de vacios (A+B)	cm ³	961.60	961.60
D	Peso de picnometro + agua + material	gr	851.80	851.80
E	Volumen de masa + volumen de vacios (C-D)	cm ³	109.80	109.80
F	Peso de material seco en ensayo	gr	298.70	298.70
G	Volumen de masa (E (A.F.))		108.50	108.50
H	P.e. Bulk (Base Seca) F/E		2.720	2.720
I	P.e. Bulk (Base Saturada) A/E		2.732	2.732
J	P.e. Aparente (Base Seca) F/E		2.753	2.753
K	Absorción (%) ((D-A/A)x100)		0.44	0.44

P.e. Bulk (Base Seca) : 2.720
P.e. Bulk (Base Saturada) : 2.732
P.e. Aparente (Base Seca) : 2.753
Absorción (%) : 0.44



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO GRUESO (Según norma ASTM C-127)

SOLICITA : BACH. CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'c = 210 KG/CM², AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : COISHCO-RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/03/2017

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	818.50	818.50
B	Peso de material saturado superficialmente seco (agua)	532.70	532.70
C	Volumen de masa + volumen de vacíos (A-B)	285.80	285.80
D	Peso de material seco en estufa	812.00	812.00
E	Volumen de masa (C-(A-D))	279.30	279.30
G	P.e. Bulk (Base Seca) D/C	2.841	2.841
H	P.e. Bulk (Base Saturada) A/C	2.864	2.864
I	P.e. Aparente (Base Seca) D/E	2.907	2.907
F	Absorción (%) ((D-A/A)x100)	0.80	0.80

P.e. Bulk (Base Seca) : 2.841
P.e. Bulk (Base Saturada) : 2.864
P.e. Aparente (Base Seca) : 2.907
Absorción (%) : 0.80



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F' C = 210 KG/CM², AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : COISHCO-RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/03/2017

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	18750	18800	18700
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	13630	13680	13580
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m ³)	1457	1462	1452
Peso unitario prom. (Kg/m ³)	1457		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1446		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	18900	18950	18800
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	13780	13830	13680
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m ³)	1473	1479	1473
Peso unitario prom. (Kg/m ³)	1475		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1482		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

SOLICITA : BACH. CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'c = 210 KG/CM², AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : COISHCO-RUBEN
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 03/03/2017

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	8100	8190	8000
Peso de molde	3326	3326	3326
Peso de muestra	4774	4864	4674
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m ³)	1712	1730	1678
Peso unitario prom. (Kg/m ³)	1706		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1693		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	8400	8450	8450
Peso de molde	3326	3326	3326
Peso de muestra	5074	5124	5124
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m ³)	1820	1838	1838
Peso unitario prom. (Kg/m ³)	1832		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1817		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO
MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ
(ASTM C-78, MTC E-709-2000)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F' C = 210 KG/CM2, AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA*
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : 03/03/2017

R = Módulo de rotura
P = Máxima carga aplicada indicada por la maquina de ensayo
L = Longitud libre de apoyos
b = Ancho promedio de viga
d = Altura promedio de viga

$$R = PL/bd^2$$

Dentro del tercio medio de la luz libre

N°	ESPECIMEN ELEMENTO	FECHA			Ancho		Altura		Longitud L(cm)	δ (mm)	Carga P(kg)	Módulo Rotura R(kg/cm²)
		MOLDEO	ROTURA	EDAD	b(cm)	d(cm)	b(cm)	d(cm)				
01	PATRON VA-1	10/02/2017	17/02/2017	7	15.2	15.1	15.2	15.1	45.1	3.05	7770.0	101.1
02	PATRON VA-2	10/02/2017	17/02/2017	7	15.2	15.1	15.2	15.1	45.2	3.15	7731.0	100.8
03	PATRON VA-3	10/02/2017	17/02/2017	7	15.15	15.15	15.15	15.15	45	2.7	6969.0	90.2
04	PATRON VA-4	10/02/2017	24/02/2017	14	15.15	15.15	15.15	15.15	45	2.95	9273.0	120.0
05	PATRON VA-5	10/02/2017	24/02/2017	14	15.15	15.15	15.15	15.15	45	2.3	9089.0	117.6
06	PATRON VA-6	10/02/2017	24/02/2017	14	15.15	15.15	15.15	15.15	45	2.9	8782.0	113.6
07	PATRON VA-7	10/02/2017	10/03/2017	28	15.15	15.15	15.15	15.15	45	3.12	9460.0	122.4
08	PATRON VA-8	10/02/2017	10/03/2017	28	15.15	15.15	15.15	15.15	45	3.5	9880.0	127.9
09	PATRON VA-9	10/02/2017	10/03/2017	28	15.15	15.15	15.15	15.15	45	3.46	9720.0	125.8



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO-EXPERIMENTAL 5%
MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ
(ASTM C-78, MTC E-709-2000)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'c = 210 KG/CM2, AL ADICIONAR EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : 03/03/2017

R = Módulo de rotura
P = Máxima carga aplicada indicada por la maquina de ensayo
L = Longitud libre de apoyos
b = Ancho promedio de viga
d = Altura promedio de viga

$$R = PL/bd^2$$

Dentro del tercio medio de la luz libre

N°	ELEMENTO	FECHA			Ancho		Altura		Longitud		Carga	Módulo Rotura
		MOLDEO	ROTURA	EDAD	b(cm)	d(cm)	L(cm)	δ (mm)	L(cm)	δ (mm)	P(kg)	R(kg/cm³)
01	EXPERIMENTAL 5%- VA-1	17/02/2017	24/02/2017	7	15.2	15.1	45.1	3.05			7411.0	96.4
02	EXPERIMENTAL 5%- VA-2	17/02/2017	24/02/2017	7	15.2	15.1	45.2	3.15			6785.0	88.5
03	EXPERIMENTAL 5%- VA-3	17/02/2017	24/02/2017	7	15.15	15.15	45	2.7			6512.0	84.3
04	EXPERIMENTAL 5%- VA-4	17/02/2017	03/03/2017	14	15.15	15.15	45	2.95			9220.0	119.3
05	EXPERIMENTAL 5%- VA-5	17/02/2017	03/03/2017	14	15.15	15.15	45	2.3			9056.0	117.2
06	EXPERIMENTAL 5%- VA-6	17/02/2017	03/03/2017	14	15.15	15.15	45	2.9			9007.0	116.6
07	EXPERIMENTAL 5%- VA-7	17/02/2017	17/03/2017	28	15.15	15.15	45	3.12			9560.0	123.7
08	EXPERIMENTAL 5%- VA-8	17/02/2017	17/03/2017	28	15.15	15.15	45	3.5			9480.0	122.7
09	EXPERIMENTAL 5%- VA-9	17/02/2017	17/03/2017	28	15.15	15.15	45	3.46			9260.0	119.8



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO-EXPERIMENTAL 10%
MÉTODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL TERCIO DE LA LUZ
(ASTM C-78, MTC E-709-2000)

SOLICITA : BACH: CHRISTIAN ALEXANDER ALEGRE MONTALVO
TESIS : "RESISTENCIA A LA FLEXION EN VIGA DE CONCRETO ARMADO F'c = 210 KG/CM2. AL ADICIONAR
EN UN 5% Y 10% DE FIBRA DE AGAVE LECHUGILLA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : 03/03/2017

R = Módulo de rotura
P = Máxima carga aplicada indicada por la maquina de ensayo
L = Longitud libre de apoyos
b = Ancho promedio de viga
d = Altura promedio de viga

$$R = PL/bd^2$$

Dentro del tercio medio de la luz libre

9390
9337
9298

N°	ESPECIMEN		FECHA			Ancho	Altura	Longitud	δ	Carga	Módulo Rotura
	ELEMENTO	MOLDEO	ROTURA	EDAD		b(cm)	d(cm)	L(cm)	(mm)	P(kg)	R(kg/cm²)
01	EXPERIMENTAL 10%- VA-1	14/02/2017	21/02/2017	7		15.2	15.1	45.1	3.05	7028.0	91.6
02	EXPERIMENTAL 10%- VA-2	14/02/2017	21/02/2017	7		15.2	15.1	45.2	3.15	7397.0	96.6
03	EXPERIMENTAL 10%- VA-3	14/02/2017	21/02/2017	7		15.15	15.15	45	2.7	7260.0	94.0
04	EXPERIMENTAL 10%- VA-4	14/02/2017	28/02/2017	14		15.15	15.15	45	2.95	9390.0	121.5
05	EXPERIMENTAL 10%- VA-5	14/02/2017	28/02/2017	14		15.15	15.15	45	2.3	9337.0	120.8
06	EXPERIMENTAL 10%- VA-6	14/02/2017	28/02/2017	14		15.15	15.15	45	2.9	9298.0	120.3
07	EXPERIMENTAL 10%- VA-7	14/02/2017	14/03/2017	28		15.15	15.15	45	3.12	9970.0	129.0
08	EXPERIMENTAL 10%- VA-8	14/02/2017	14/03/2017	28		15.15	15.15	45	3.5	10180.0	131.7
09	EXPERIMENTAL 10%- VA-9	14/02/2017	14/03/2017	28		15.15	15.15	45	3.46	9985.0	129.2



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
Ing. Jorge Montañez Reyes
JEFE

ANEXO N° 02

Fichas de laboratorio de Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía Instituto Peruano de Energía Nuclear - IPEN

**Dirección de Investigación y Desarrollo**

Sub-Dirección de Investigación Científica
Laboratorio de Espectroscopia de Rayos X
Teléfono : 4885050/4885090 Anexo 220
Dirección : Av. Canadá 1470 San Borja
e-mail : pdr@ipen.gob.pe

Reporte de Análisis N° 003-2017-INDE/INCI/LERX**DATOS DE LAS MUESTRAS:**

Tipo de muestras : Fibra de Agave Lechuguilla (Penka)
N° de Muestras : 1 (uno)
Código de las muestras : a/c
Procedencia : Universidad San Pedro Huaraz Ancash
Solicitado por : Sr. Christian Alexander Alegre Montaño
Referencia : Cotización N°002-17-INDE-INCI-LERX
Fecha de ingreso : 04/04/2017 Expediente N°36186

CONDICIONES DE ANALISIS:

Técnica Aplicada : Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía
Fuente de Excitación : Cd-109
Método de cálculo : Sensibilidad Elemental
Fecha de emisión : 11/04/2017
Analista : Paula Olivera

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS:

Se preparó una pastilla compacta para obtener una buena densidad
Se irradió la pastilla directamente

ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO !!

Muestra: Fibra de Agave Lechuguilla (Penka)

Elemento	Concentración
Ca (%)	7.9 ± 1.1
Ti (ppm)	1324 ± 967
Mn (ppm)	223 ± 33
Fe (ppm)	741 ± 83
Ni (ppm)	109 ± 16
Cu (ppm)	494 ± 46
Zn (ppm)	117 ± 14
Sr (ppm)	1068 ± 70
Pb (ppm)	58 ± 9

T_{irradiación} 60000 s

Paula Olivera Olgués
Laboratorio de Espectroscopia de Rayos X
Sub-Dirección de Desarrollo Tecnológico
Dirección de Investigación y Desarrollo

ANEXO N° 03

Informe Técnico

Ensayos Físico – Químicos

PH y Grado de Acidez

Facultad de Ing. Industrias Alimentarias UNASAM



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS
HUARAZ - ANCASH - PERÚ



INFORME TECNICO N°001

I. DATOS GENERALES

SOLICITANTE : CHRISTIAN ALEGRE MONTALVO
MUESTRA : **FIBRA DE PENKA SECA**
PRESENTACIÓN : BOLSA POLIETILENO
MUESTREO POR : EL SOLICITANTE
FECHA DE RECEPCIÓN : 28 DE DICIEMBRE DE 2016
N° DE RECIBO : 06962; 06961

II. DATOS DE LA ETIQUETA DE LA MUESTRA

PRODUCTO : **FIBRA DE AGAVE DE LECHUGUILLA - PENKA**
CANTIDAD DE MUESTRA : 50g

III. RESULTADOS

FECHA DE ANÁLISIS : 02 DE ENERO DE 2017

ENSAYOS FÍSICO/QUÍMICOS	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
1. pH	5.87	5.84	5.86
2. Acidez (g ácido málico/100g muestra original)	3.33	3.35	3.34



Ing. SALVADOR GONZALES LIZARME
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ALIMENTOS DE LA FIIA- UNASAM



DR. NORMA GAMARRA RAMIREZ
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS - UNASAM

ANEXO N° 04

Informe Técnico

Ensayo de Laboratorio

**Resistencia a la tensión paralela de la fibra
del Agave Lechuguilla**

Universidad Nacional Agraria la Molina

Departamento de Industrias Forestales



CONSTANCIA

El Jefe del **JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYOS TECNOLÓGICOS** que suscribe, hace constar que:

Que el Bachiller **Christian Alexander Alegre Montalvo** identificado con DNI N° 31664154 de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Particular San Pedro - Filial Huaraz, ha realizado en este laboratorio los ensayos de resistencia a la tensión paralela de la fibra *Agave lechuguilla* (penca) que forma parte su trabajo de tesis titulado "**Resistencia a la flexión en vigas de concreto armado $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al adicionar en 5% y 10% de la fibra *agave lechuguilla***".

Se expide el presente documento a solicitud del interesado para los fines académicos.

La Molina, 07 de Julio de 2017

Ing. Moisés Acevedo Manrique

LABORATORIO DE ENSAYOS TECNOLÓGICOS



ELONGACION INICIAL Y FINAL DE LA FIBRA DE AGAVE LECHUGUILLA

Elongación Máxima de la fibra (%)		
Long. Inic. (cm)	Long. Final (cm)	Elongación máxima (%)
10.0	11.4	14
10.0	11.0	10
10.0	11.2	12
10.0	11.6	16
9.6	10.5	9
Elongación a la Ruptura %		12

LONGITUD INICIAL Y FINAL DE LA FIBRA



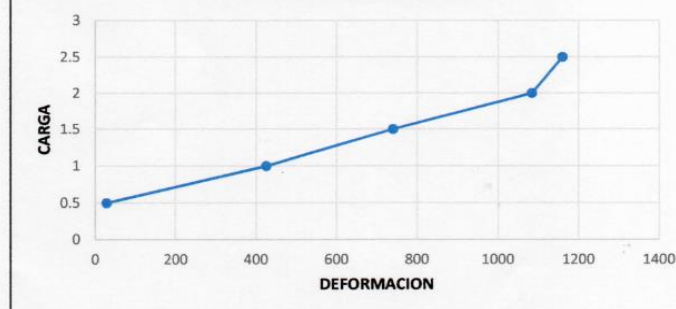
PORCENTAJE DE ELONGACION A LA RUPTURA DE LA FIBRA



PROBETA A-1

Deformacion	Carga
28	0.5
425	1
740	1.5
1084	2
1160	2.5

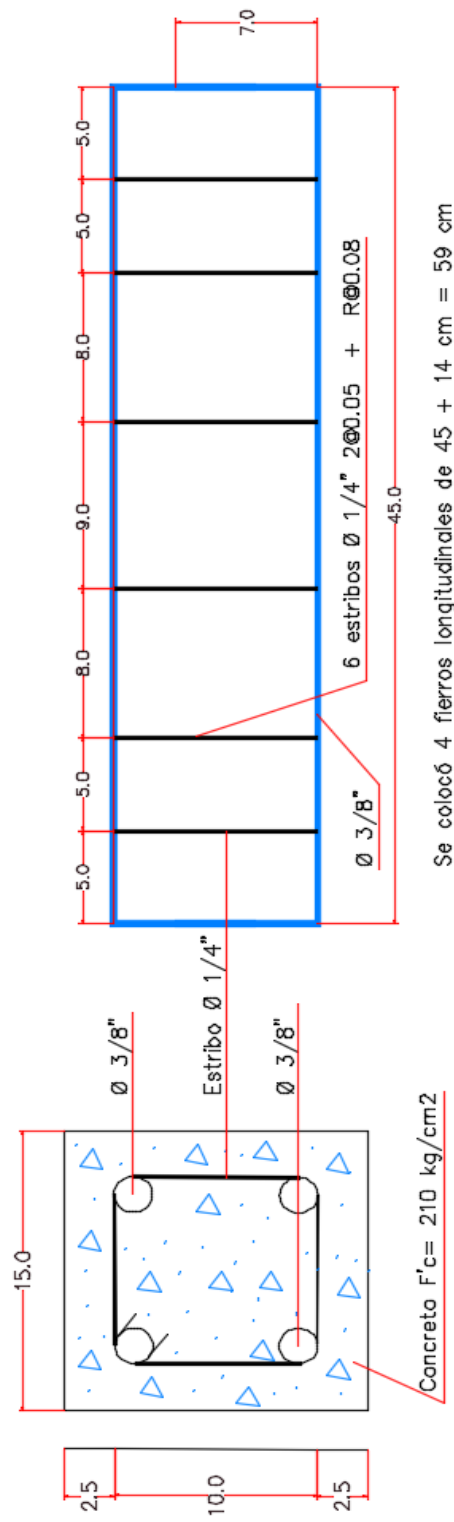
CARGA VS DEFORMACION



ANEXO N° 05

Sección Transversal de la viga armada

SECCION TRANSVERSAL DE LA VIGA (cm)



ANEXO N° 06

Panel Fotográfico



Foto 01. Extracción de la penka del Agave Lechuguilla

Fuente: El Autor.



Foto 02. Extracción de la fibra del Agave Lechuguilla

Fuente: El Autor.



Foto N° 03: Secado de la fibra al sol por siete días.

Fuente: El Autor.



Foto 04. Cortado de la fibra del agave lechuguilla cada 3 cm.

Fuente: El Autor.



Foto 05. Cortado de la fibra del agave lechuguilla cada 3 cm.

Fuente: El Autor.



Foto 06. Derretido de la parafina a 80° C, en estufa.

Fuente: El Autor.



Foto 07. Tratamiento de la fibra con la parafina a 23° C, en estufa.

Fuente: El Autor.



Foto 08. Secado de la fibra tratada al ambiente.

Fuente: El Autor.



Foto 09. Realizando la medición de la fibra, en la zona basal, medio y apical.

Fuente: El Autor.



Foto 10. Dispositivo para ensayo de tensión de la fibra.

Fuente: Lab. Tecnología del papel y madera – Universidad Nacional Agraria la Molina.



Foto 11. Ensayo a tensión de la fibra del agave lechuguilla en el laboratorio.

Fuente: Lab. Tecnología del papel y madera – Universidad Nacional Agraria la Molina.



Foto 12. Tamizado de los agregados.

Fuente: El Autor.



Foto 13. Fiola con el agregado fino para determinar su peso específico.

Fuente: El Autor.



Foto 14. Secado de las muestras al horno por 24 horas

Fuente: El Autor.



Foto 15. Proporción de los materiales pesados para la mezcla.

Fuente: El Autor.



Foto 16. Preparación de los moldes de las vigas, añadiendo capa de gasolina.

Fuente: El Autor.



Foto 17. Diseño de la armadura de la viga de dimensiones 10x10x45 cm.

Fuente: El Autor.



Foto 18. Preparado de la mezcla según el porcentaje de la fibra y el patrón.

Fuente: El Autor.



Foto 19. Preparado y vaciado de la mezcla.

Fuente: El Autor.



Foto 20. Fibras dispersas en la mezcla del concreto.

Fuente: El Autor.



Foto 21. En el molde la viga se coloca una cama del concreto en altura de 2.5 cm.

Fuente: El Autor.



Foto 22. Con una varilla se procede a dar 25 golpes, en la base del concreto.

Fuente: El Autor.



Foto 23. Se procede a dar golpes con el martillo plástico 4 golpes a cada extremo.

Fuente: El Autor.



Foto 24. Luego se coloca la estructura armada en el molde.

Fuente: El Autor.



Foto 25. Se cubre con el concreto todo el molde y se procede a golpear con la varilla dando 52 golpes uniformemente.

Fuente: El Autor.



Foto 26. Puliendo la superficie de la viga con ayuda de una varilla circular.

Fuente: El Autor.



Foto 27. Superficie pulida, esperar dos días para el desencofrado.

Fuente: El Autor.



Foto 28. Desencofrado de las vigas y enumerarlas.

Fuente: El Autor.



Foto 29. Se procederán a llenarlas en cilindros con agua para el curado.

Fuente: El Autor.



Foto 30. Cubriendo todo el cilindro con agua potable para el respectivo curado.

Fuente: El Autor.



Foto 31. Después del fraguado respectivo se retiraron las vigas para las pruebas.

Fuente: El Autor.



Foto 32. Midiendo las terceras partes de la longitud de la viga.

Fuente: El Autor.



Foto 33. Colocando la viga en la máquina para la prueba de la rotura (R. flexión)

Fuente: El Autor.



Foto 34. Prueba de rotura de la resistencia a flexión de la viga.

Fuente: El Autor.



Foto 35. La viga sufrió la rotura solo en los extremos.

Fuente: El Autor